

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**RESÍDUO DO CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS NA  
ALIMENTAÇÃO DE CORDEIROS CONFINADOS**

**MATEUS NETO SILVA SOUZA**

**SALVADOR-BAHIA  
DEZEMBRO/2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**RESÍDUO DO CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS NA  
TERMINAÇÃO DE CORDEIROS CONFINADOS**

**MATEUS NETO SILVA SOUZA**  
Engenheiro Agrônomo  
Mestre em Produção Animal

**SALVADOR-BAHIA  
DEZEMBRO/2021**

**MATEUS NETO SILVA SOUZA**

**RESÍDUO DO CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS NA  
TERMINAÇÃO DE CORDEIROS CONFINADOS**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Zootecnia,  
da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial  
para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção de Ruminantes e  
Forragicultura

Orientador: Professor Dr. Ronaldo Lopes Oliveira

Coorientador: Dr. Jarbas Miguel da Silva Junior

**SALVADOR-BAHIA  
DEZEMBRO/2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Mateus Neto Silva.

Resíduo do cultivo de cogumelos comestíveis na alimentação de cordeiros confinados / Mateus  
Neto Silva Souza. - 2021.  
93 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Jarbas Miguel da Silva Junior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia,  
Salvador, 2021.

1. Zootecnia. 2. Nutrição animal. 3. Ruminantes - Alimentação e rações. 4. Resíduos agrícolas  
como ração. 5. Cogumelos comestíveis. I. Oliveira, Ronaldo Lopes. II. Universidade Federal da  
Bahia. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

CDD - 636.3085

CDU - 636.3

# RESÍDUO DO CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS NA TERMINAÇÃO DE CORDEIROS CONFINADOS

Mateus Neto Silva Souza

Tese defendida e aprovada para obtenção do grau de  
Doutor em Zootecnia

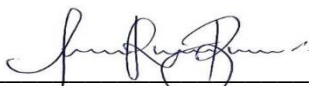
Salvador, 09 de dezembro de 2021

Comissão examinadora:



---

**Dr. Ronaldo Lopes Oliveira**  
**UFBA**  
**Orientador / Presidente**



---

**Dr. Leilson Rocha Bezerra**  
**UFCG**



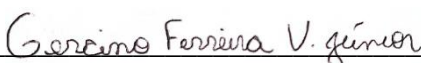
---

**Dr. Miguel Antônio Machado Rodrigues**  
**UTAD**



---

**Dr. Mozart Alves Fonseca**  
**UNReno**



---

**Dr. Gercino Ferreira Virgínio Júnior**  
**UFBA**

**SALVADOR-BAHIA**

**DEZEMBRO/2021**

### **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Mateus Neto Silva Souza, filho de Enilde de Souza Lima e Vanusa Silva Lima, nasceu em Poções – Bahia, em 11 de maio de 1993. Concluiu o ensino médio em 2009, no Colégio Estadual Luís Eduardo Magalhães – CELEM, Município de Mirante – Bahia. Ingressou na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB em agosto de 2010, no curso de Agronomia. Concluindo-o em agosto de 2015, e no mesmo mês e ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal em nível de Mestrado, área de concentração Forragicultura e Produção Animal do Instituto de Ciências Agrárias na Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG, sob orientação do Prof. Dr. Leonardo David Tuffi Santos. Submeteu-se em abril de 2017 à banca examinadora para a defesa da dissertação de mestrado, sendo aprovado. Em maio 2017 ingressou no curso de Pós-graduação em Zootecnia pela Universidade Federal da Bahia- UFBA, nível doutorado, área de concentração Produção de Ruminantes e Forragicultura sob orientação do Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira e em dezembro de 2021 submeteu-se ao exame de defesa de tese.

Infalível Criador,  
que, dos tesouros da Vossa sabedoria,  
tirastes as hierarquias dos anjos,  
colocando-as com ordem admirável no céu;  
Vós, que distribuístes o universo com encantadora harmonia;  
Vós, que sois a verdadeira fonte da luz  
e o princípio supremo da sabedoria,  
difundi sobre as trevas da minha mente o raio do esplendor,  
removendo as duplas trevas nas quais nasci:  
o pecado e a ignorância.  
Vós, que tornastes fecunda a língua das crianças,  
tornai erudita a minha língua  
e espalhai sobre os meus lábios a vossa bênção.  
Concedei-me a agudeza de entender,  
a capacidade de reter,  
a sutileza de relevar,  
a facilidade de aprender,  
a graça abundante de falar e de escrever.  
Ensinai-me a começar,  
regei-me no continuar e no perseverar até o término.  
Vós, que sois verdadeiro Deus e verdadeiro homem,  
que viveis e reinais pelos séculos dos séculos.  
Amém.

**São Tomás de Aquino – O Doutor Angélico**

Ao

meu pai e à minha mãe  
por terem me dado raízes e asas!  
Fonte de sabedoria, honestidade e amor!

Aos meus irmãos,  
minha família, tios e tias,  
os quais me incentivaram em todos os momentos!

DEDICO!



## Agradecimentos

A Deus fonte de vida, de Amor e Esperança na vida eterna; À Santíssima Virgem pelo cuidado e intercessão principalmente nos momentos de maior angústia, quando Ela dizia: fazei tudo o que Ele vos disser; A São José, modelo real de homem e trabalhador, o qual dou graças, pela intercessão no céu.

Agradeço a minha família pela solidez de virtudes, valores e princípios os quais nortearam minha caminhada até aqui e nortearão os meus passos seguintes. Principalmente, pelo amor, apoio, confiança e paciência. Aos meus pais, Enilde e Vanusa, os quais devo o modelo de honestidade, presença, dedicação. Aos meus irmãos Vitor, Enilde Maycon e Letícia pelo sustento e apoio. As minhas tias pela preocupação e cuidado em todo esse tempo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Oliveira pela oportunidade, ensinamentos, paciência, disponibilidade e principalmente me tirar da zona de conforto. Obrigado pelo exemplo que nos inspira enquanto líder, pesquisador e mestre.

Aos professores que contribuíram com a elaboração, execução e alinhamento deste trabalho e sobretudo a minha formação: Prof. Cláudio Ribeiro, Prof. Thadeu Mariniello, Prof<sup>ª</sup>. Analívia, Prof<sup>ª</sup>. Carolina Oliveira. Aos professores da Universidade Federal da Bahia.

A Universidade Federal da Bahia, e Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, de modo especial aos colaboradores da Fazenda Experimental de São Gonçalo dos Campos: o amigo Dalisson Coura, Seu Giovane, Seu Florisvaldo, Edigar, Duca, Guga, Renato, Dona Joana, Reginaldo e todos que a ajudaram e a adotaram durante os sete meses de fazenda.

Aos Pós-doutorandos do GENRU, Thiago Nascimento, Rebeca Xavier, Nilton, Caius Barcellos, Jaqueline, Gabriela, Tiago Cunha, Jarbas Miguel e Ederson pela dedicação e suporte tanto para a execução do experimento quanto ao auxílio nas correções.

Aos colegas e amigos com os quais dividi meu tempo, questionamentos e lições de vida. Thomaz Guimarães, Willian, Neiri Jean, Camila Oliveria, Pedro Mazza, Daniela Pionorio, Fernanda Maria, Sheila Vilarindo, Luciana Viana, Renata Fróes, Jocasta, José

Missasse, Vanessa Pereira, Isadora, Daniela Cotrim, Larissa Queiroz, Henry Alba, Lucas Bulcão, Fernanda Gazar e Márcia.

Aos estudantes de Iniciação Científica pelo auxílio muito necessário em todas as fases da pesquisa, e pela disposição em querer aprender, Mirna Xavier e Melissa Ferrer.

À fábrica de Cogumelos Hochibra Cogumelos Exóticos® pela doação do resíduo utilizado no experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudos.

À todas as pessoas que de algum modo passaram pela minha vida neste tempo, que permaneceram, ou não, mas deixaram suas marcas. Àquelas pessoas que chegaram agora, e estão acompanhando os últimos momentos deste trabalho, mas também se alegram e contribuem com finalização deste projeto. Projeto de Ciência e Projeto de Vida.

**LISTA DE ABREVIATURAS**

A – Ampere  
A:G – Albumina/globulina  
ALT – Alanina-aminotransferase  
AOAC – Association of Analytical Communities  
AOL - Área de olho de lombo  
AST – Aspartato-aminotransferase  
CD – Coeficiente de digestibilidade  
CFDNcp - Consumo de fibra detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas  
cm - centímetro  
CMS - Consumo de matéria seca  
CMO – Consumo de matéria orgânica  
CNF - Carboidratos não-fibrosos  
CPB - Consumo de proteína bruta  
CNDT – Consumo de nutrientes digestíveis totais  
d – dia  
DIVMS – Digestibilidade *in vitro* da matéria seca  
dL – Decilitro  
DP – Desvio padrão  
EE – Extrato etéreo  
EI – Eficiência de ingestão  
EGS – Espessura de gordura subcutânea  
EPM - Erro padrão da média  
ER – Eficiência de ruminação  
FDA – Fibra em detergente ácido  
FDN - Fibra em detergente neutro  
FDNcp - Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína  
FDNpe – Fibra em detergente neutro fisicamente efetivo  
g – Gramas  
GGT - Gama-glutamiltransferase  
GMD - Ganho médio diário  
h - hora  
Kg – Quilograma  
L - Litro  
m - metro  
mg – Miligrama  
mL – Mililitro  
mm- Milímetro  
min – minuto  
mmol - milimol  
MN - Matéria natural  
MM - Matéria mineral  
MO - Matéria orgânica  
MS - Matéria seca  
N – Nitrogênio  
NDT - Nutrientes digestíveis totais  
NRC - Nutrient Research Council  
PB - Proteína bruta  
PCQ – Peso de carcaça quente  
PCF – Peso de carcaça fria

PF – Peso final  
 pH – potencial hidrogeniônico  
 PIDA - Proteína indigestível em detergente ácido  
 PIDN - Proteína indigestível em detergente neutro  
 PV - Peso vivo  
 PVA – Peso vivo ao abate  
 RCC – Resíduo do cultivo de cogumelos  
 RCQ – Rendimento de carcaça quente  
 RCF - Rendimento de carcaça fria  
 rpm – rotações por minuto  
 TI – Tempo de ingestão  
 TTM – Tempo total de mastigação  
 TR – Tempo de ruminação  
 UI – Unidade Internacional

### LIST OF ABBREVIATIONS

ADG - Average daily gain  
 ADIP - Acid detergent insoluble protein  
 ADL - Acid detergent lignin  
 AI - Atherogenicity indices  
 BW – Body weight  
 CLA - Conjugated linoleic acid  
 CWL - Cooking weight loss  
 CP – Crude protein  
 DFA - Desirable fatty acids  
 DMI - Dry matter intake  
 DM - Dry matter  
 EE - Ethereal extract  
 FA - Fatty acid  
 FAME - Fatty acid methyl esters  
 HDL – High density lipoprotein  
 h/H – Hypocholesterolemic/hypercholesterolemic  
 kgf - kilogram-force  
 LDL – Low density lipoprotein  
 MUFA - Monounsaturated fatty acids  
*N - Newton force*  
 NDA - acid detergent fiber  
 NDF - Neutral detergent fiber  
 NDIP - Neutral detergent insoluble protein  
 NIRS – Near infrared spectroscopy  
 PUFA - Polyunsaturated fatty acids  
 SEM - Standard error of the mean  
 SFA - Saturated fatty acids  
 TI - Thrombogenicity indice  
 WBSF - Warner–Bratzler shear force  
 WHC - Water holding capacity

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 01 - Desempenho, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno de Tifton-85**

Tabela 1 – Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas para cordeiros confinados.....	31
Tabela 2 – Proporção dos ingredientes, composição química e distribuição das partículas das dietas experimentais utilizadas na alimentação de cordeiros submetidos às dietas com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno.....	32
Tabela 3 – Composição química dos substratos de cultivo de cogumelos em função dos dias de inoculação.....	41
Tabela 4 – Consumo de nutrientes, coeficiente de digestibilidade e balanço de nitrogênio (N) de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno.....	42
Tabela 5 – Composição da dieta efetivamente consumida e diferença percentual entre o ofertado e consumido por cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno.....	43
Tabela 6 - Parâmetros ruminais de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno .....	44
Tabela 7 – Desempenho e características de carcaça de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno .....	45
Tabela 8 – Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno .....	46
Tabela 9 – Número de períodos e tempo médio gasto por período nas atividades de alimentação, ruminação e ócio por cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno .....	47
Tabela 10 – Níveis séricos de proteínas totais, albumina, globulina, relação albumina/globulina (A:G), colesterol, triglicerídeos, gama-glutamyltransferase (GGT), aspartato-aminotransferase (AST) e alanina-aminotransferase (ALT) de cordeiros alimentados.....	47

**CAPTCHER 02 - Effect of dietary mushroom cultivation residue on the physicochemical composition, fatty acid profile and sensorial attributes of lamb meat**

Table 1 - Chemical composition of ingredients used in lamb diets .....	68
Table 2 - Ingredient proportion, chemical and fatty acids composition of experimental lamb diets including of mushroom residue replacing Tifton-85 hay .....	68
Table 3 - Physicochemical composition in the longissimus lumborum muscle of lambs fed mushroom residue replacing Tifton-85 hay .....	75
Table 4 - Fatty acid composition of (mg/100 g fresh meat) from the longissimus lumborum muscle of lambs fed with diets containing mushroom residue replacing Tifton-85 hay ..	77
Table 5 - Fatty acid group, sum ( $\Sigma$ ), ratios and health indexes (mg/100 g fresh meat) from the longissimus lumborum muscle of lambs fed mushroom residue replacing Tifton-85 hay diets .....	78
Table 6 - Consumer appeal of the meat of lambs fed diets containing mushroom residue replacing Tifton-85 hay.....	80

**LISTA DE FIGURAS****CAPÍTULO 01 - Desempenho, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno de Tifton-85**

Figura 1 – Curva de desidratação do resíduo do cultivo de cogumelos.....	40
Figura 2 – pH e concentração de nitrogênio amoniacal no rúmen de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno.....	44

## SUMÁRIO

### **TÍTULO - Resíduo do cultivo de cogumelos comestíveis na alimentação de cordeiros confinados**

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

## CAPÍTULO 01

### **Desempenho, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno de Tifton-85**

RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
RESULTADOS.....	40
DISCUSSÃO.....	48
CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## CAPÍTULO 02

### **Effect of dietary mushroom cultivation residue on the physicochemical composition, fatty acid profile and sensorial attributes of lamb meat**

ABSTRACT:.....	65
1. INTRODUCTION.....	65
2. MATERIALS AND METHODS.....	66
3. RESULTS.....	75
4. DISCUSSION.....	80
5. CONCLUSION.....	84
6. REFERENCES.....	84



## INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial crescente, concomitantemente aumenta-se a demanda por alimentos de origem animal, tornando o cenário da cadeia produtiva de ruminantes desafiador, especialmente para as próximas décadas (Gerber et al., 2013). Quando se trata da ovinocultura, os desafios que se destacam são o modo em que os animais são criados, ou seja, de forma extensiva, atividade de subsistência e cadeia desorganizada, e comumente caracterizada por baixos índices produtivos (Sório et al., 2017).

Por outro lado, surgem estratégias que podem melhorar a realidade desta cadeia. Além do conhecimento ofertado aos produtores, o confinamento surge como alternativa para ter uma regularidade de oferta, busca de mercado consistente, e produtos de melhor qualidade ao consumidor (Gomes et al., 2015). A produção animal de modo geral demanda alimentos de qualidade, especialmente quando se propõe sistemas de produção mais intensivos, e prioriza-se a utilização de alimentos clássicos, que chegam até 70% dos custos da dieta de um sistema de produção (McGrath et al., 2018). A fim de reduzir custos de alimentação e a competição com outros setores, estudos com o objetivo de reduzir ou substituir *comodities* agrícolas convencionais são comuns, principalmente aquelas que compõe o concentrado, como milho e farelo de soja, optando por alimentos alternativos (Sadri et al., 2018; Galvão et al., 2020). Dentre estes alimentos, destacam-se os resíduos agroindustriais (Bagaldo et al., 2019; Mazza et al., 2020; Nascimento et al., 2021).

Não obstante, a escassez de volumosos para produção de ruminantes também é um entrave, pois nem sempre os sistemas produtivos os têm, em qualidade e quantidade necessária (Castillo-Umaña et al., 2020). Isso se deve ao fato de que a produção animal em diversas regiões do mundo sofre com a sazonalidade da produção forrageira, em virtude da falta de uniformidade da distribuição da produção durante o ano (Xie et al., 2017; Dzavo et al., 2019). As variações das condições climáticas de cada localidade, principalmente secas, geadas ou redução da luminosidade (especialmente nos locais mais distantes dos trópicos) são responsáveis pela redução da produtividade das forragens. Desse modo, pesquisas que buscam atenuar a escassez de forragem através da conservação (Oliveira et al., 2018) ou substituição das forragens convencionais (Andrade et al., 2020) fornecem valiosas fontes de energia e proteínas.

As mudanças de comportamento do consumidor na busca por alimentos de qualidade, saudáveis e de produção sustentável que tem alavancado a produção de

pequenos ruminantes de corte, como ovinos (Mandolesi et al., 2020), é a mesma que tem incentivado o crescimento da produção e consumo de cogumelos (Singh et al., 2019). O cultivo destes fungos comestíveis é conduzido geralmente em toras de madeira, para os cogumelos convencionais; os exóticos, entretanto, são cultivados sobre restos agrícolas, como palhadas de trigo, arroz, milho ou em recipientes contendo um substrato pré-formulado à base de serragem com adição de milho moído, farelo de soja, farelo de trigo e outros ingredientes, a fim de garantir o desenvolvimento do fungo (Peng 2010). E, como na maioria dos sistemas agrícolas, industriais e agroindustriais no cultivo de cogumelo há a geração de resíduos, que geralmente não tem uma destinação adequada, podendo ser descartado de forma descontrolada na natureza, gerando contaminações no solo e lençol freático, até que pesquisas direcionem seu uso. A produção de cogumelos gera em torno de 5 kg de resíduo a cada quilograma de cogumelos produzidos (Zied et al., 2021), e, apesar da utilização como fonte de bioenergia ou substrato agrícola, apresenta ainda grande potencialidade para a utilização na alimentação animal, em virtude de suas características nutricionais. O resíduo do cultivo de cogumelos apresenta teores de fibra em detergente neutro similares às forrageiras convencionais (652 g/kg de MS), adicionalmente, maiores teores de proteína bruta (154 g/kg de MS), oriundo do micélio fúngico remanescente, após a colheita dos cogumelos (Van Kuijk et al., 2015).

Durante o crescimento, os fungos, lançam enzimas que degradam os complexos lignocelulósicos dos tecidos vegetais (Platt et al., 1984), componentes estes que geralmente tornam a digestibilidade da fibra reduzida. A quebra, portanto, permite o melhor aproveitamento dos carboidratos fibrosos pelos ruminantes (Van Kuijk et al., 2017). A degradação dos compostos lignocelulósicos liberam compostos fenólicos, como os taninos condensados (Rangubhet et al., 2017), e podem interferir na fermentação ruminal, reduzindo a população de protozoários e de bactérias responsáveis pela biohidrogenação dos ácidos graxos (Gesteira et al., 2019). E com isso, proporcionar maior concentração de ácidos graxos poliinsaturados e conjugados no rúmen e ao intestino delgado para absorção, com expectativa de melhoria na qualidade da carne.

Estudos *in vitro* demonstram que o material tratado com fungos tem potencial para ser utilizado em dietas de ruminantes (Tuyen et al., 2012; Nayan et al., 2018), uma vez que, este resíduo contribui para o aumento da ingestão de matéria seca (Kaur et al., 2012), com percentuais de proteína bruta superior às forrageiras convencionais. Por outro lado, poucos artigos descrevem a utilização *in vivo* do resíduo do cultivo de cogumelos. A maioria dos

estudos existentes *in vivo* são limitados à ingestão e digestão ruminal (Fazaeli et al., 2006; Rangubhet et al., 2017) e além disso utilizam a biomassa celulósica agrícola, e não substratos para cultivo pré-formulados à base de serragem e outros ingredientes. Portanto, são necessários estudos sobre o efeito do resíduo do cultivo de cogumelos na alimentação de ruminantes, substituindo a fração volumosa, com ênfase no processo digestivo, desempenho dos animais e qualidade da carne para o consumo humano. Diante do exposto, a hipótese é que o feno de Tifton-85, volumoso tradicionalmente utilizado nos sistemas de produção, possa ser substituído pelo resíduo do cultivo de cogumelos, na alimentação de cordeiros confinados contribuindo para melhoria do desempenho produtivo, as características de carcaça e a qualidade de carne, sem comprometer o metabolismo ruminal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, A. P., de Figueiredo, M. P., de Quadros, D. G., Ferreira, J. Q., Whitney, T. R., Luz, Y. S., Santos, H. R. O., Souza, M. N. S. Chemical and biological treatment of cotton gin trash for fattening Santa Ines lambs. **Livestock Science**, v. 240, p. 104146, 2020.

Bagaldo, A. R., Miranda, G. S., Júnior, M. S., de Araújo, F. L., Matoso, R. V. M., Chizzotti, M. L., Bezerra, L. R. Oliveira, R. L. Effect of Licuri cake supplementation on performance, digestibility, ingestive behavior, carcass traits and meat quality of grazing lambs. **Small Ruminant Research**, v. 177, p. 18-24, 2019.

Castillo-Umaña, M., Balocchi, O., Pulido, R., Sepúlveda-Varas, P., Pacheco, D., Muetzel, S., Berthiaume, R., Keim, J. P. Milk production responses and rumen fermentation of dairy cows supplemented with summer brassicas. **Animal**, v. 14, n. 8, p. 1684-1692, 2020.

Dzavo, T., Zindove, T. J., Dhliwayo, M., & Chimonyo, M. Effects of drought on cattle production in sub-tropical environments. **Tropical Animal Health and Production**, v. 51, n. 3, p. 669-675, 2019.

Fazaeli, H., Azizi, A., Amile, M. Nutritive value index of treated wheat straw with *Pleurotus* fungi fed to sheep. **Pakistan Journal Biological Sciences**, v. 9, n. 13, p. 2444-2449, 2006.

Galvão, J. M., Silva, T. M., Silva, W. P., Pimentel, P. R. S., Barbosa, A. M., Nascimento, T. C., Lima, A. G. V. O., Bezerra, L. R., Oliveira, R. L. Intake, digestibility, ingestive

behavior, and nitrogen balance of goats fed with diets containing residue from tamarind fruit. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 1, p. 257-264, 2020.

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

Gesteira, S. M., Oliveira, R. L., Trajano, J. D. S., Ribeiro, C. V. D. M., Costa, E. I. D. S., Ribeiro, R. D. X., Pereira, E. S., Bezerra, L. R. Fatty acid profile, physicochemical composition and sensorial attributes of salted and sun-dried meat from young Nellore bulls supplemented with condensed tannins. **Plos One**, v. 14, n. 4, p. e0216047, 2019.

Gomes, R. D. C., Nunez, A. J. C., Marino, C. T., de Medeiros, S. R. Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

Mandolesi, S., Naspetti, S., Arsenos, G., Caramelle-Holtz, E., Latvala, T., Martin-Collado, D., Orsini, S., Ozturk, E., Zanolli, R. Motivations and barriers for sheep and goat meat consumption in Europe: A means–end chain study. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 1105, 2020.

McGrath, J., Duval, S. M., Tamassia, L. F., Kindermann, M., Stemmler, R. T., de Gouvea, V. N., Acedo, T. S., Imming, I., Williams, S. N., Celi, P. Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. **Research in Veterinary Science**, v. 116, p. 28-39, 2018.

Mazza, P. H. S., Jaeger, S. M. P. L., Silva, F. L., Barbosa, A. M., Nascimento, T. V. C., Hora, D. I. C., Silva Junior, J. M., Bezerra, L. R., Oliveira, R. L. Effect of dehydrated residue from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit pulp in lamb diet on intake, ingestive behavior, digestibility, ruminal parameters and N balance. **Livestock Science**, v. 233, p. 103938, 2020.

Nayan, N., Sonnenberg, A. S., Hendriks, W. H., Cone, J. W. Screening of white-rot fungi for bioprocessing of wheat straw into ruminant feed. **Journal of Applied Microbiology**, v. 125, n. 2, p. 468-479, 2018.

Nascimento, C. O., Pina, D. S., Cirne, L. G., Santos, S. A., Araújo, M. L., Rodrigues, T. C., Silva, W. P., Souza, M. N. S., Alba, H. D. R. de Carvalho, G. G. P. Effects of Whole

Corn Germ, a Source of Linoleic Acid, on Carcass Characteristics and Meat Quality of Feedlot Lambs. **Animals**, v. 11, n. 2, p. 267, 2021.

Oliveira, A. P. D., Bagaldo, A. R., Loures, D. R. S., Bezerra, L. R., Moraes, S. A., Yamamoto, S. M., Araújo, F.L., Cirne, L. G., Oliveira, R. L. Effect of ensiling gliricidia with cassava on silage quality, growth performance, digestibility, ingestive behavior and carcass traits in lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 241, p. 198-209, 2018.

Peng, J.T. Overview and prospects of edible and medicinal mushrooms: production, consumption, and marketing in Taiwan. **International Training Course on Edible Mushroom Production for Asian Farmer and Entrepreneurs**, November 22-23, 2010 at TARI, Taiwan, 2010.

Platt, M. W., Hadar, Y., Chet, I. Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 150-154, 1984.

Sadri, K., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., Rezaei, J. Influence of dietary feeding different levels of mixed potato-wheat straw silage on the diet digestibility and the performance of growing lambs. **Small Ruminant Research**, v. 159, p. 84-89, 2018.

Singh, K. M., Ahmad, N., Sinha, D. K., Mishra, R. R. Augmenting Income and Employment through Mushroom production: A micro-level study of Samastipur district of Bihar (India). **Indian Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 3, p. 4389-4392, 2019.

Sório, A., Oliveira, A., Ribeiro, E. A. A., Costa, M. M., Silva, M. C. F., Oliveira, S. R., Aguiar, V. M. Diagnóstico da oferta e demanda de ovinos e caprinos para processamento de carne, pele e leite na região central do Tocantins. Secretaria do Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária, 2017.

Tuyen, D. V., Cone, J. W., Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S. M., Hendriks, W. H. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 336-342, 2012.

Van Kuijk, S. J., Sonnenberg, A. S., Baars, J. J., Hendriks, W. H., José, C., Rencoret, J., Gutiérrez, A., Ruijter, N. C. A., Cone, J. W. Chemical changes and increased degradability of wheat straw and oak wood chips treated with the white rot fungi *Ceriporiopsis subvermispora* and *Lentinula edodes*. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 381-391, 2017.

Van Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H., Cone, J. W. Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: a review. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 1, p. 191-202, 2015.

Xie, X., Wang, J. K., Guan, L., & Liu, J. X. Effect of changing forage on the dynamic variation in rumen fermentation in sheep. **Animal Science Journal**, v. 89, n. 1, p. 122-131, 2017.

Zied, D. C., de Abreu, C. G., Alves, L. D. S., Prado, E. P., Pardo-Gimenez, A., de Melo, P. C., Dias, E. S. Influence of the production environment on the cultivation of lettuce and arugula with spent mushroom substrate. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111799, 2021.

## CAPÍTULO 01

---

**Desempenho, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno de Tifton-85**

**Desempenho, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno de Tifton-85**

**RESUMO**

Um experimento foi realizado para caracterizar o substrato de cultivo de cogumelos em função do tempo de crescimento do fungo e três experimentos para determinar o melhor nível de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos na dieta de cordeiros confinados. Para caracterização do substrato de cultivo de cogumelos, foi coletado na fábrica de cogumelos o substrato em sete idades de inoculação do fungo, sendo 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias e conduzida análises bromatológicas. Para os experimentos com animais, foram testados cinco níveis de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos, a saber: 0, 25, 50, 75 e 100% com base na MS. O primeiro experimento com animais foi conduzido com quarenta cordeiros mestiços (Santa Ines × Dorper) não-castrados com idade média de quatro meses e peso corporal médio de  $27,8 \pm 2,37$  kg, para avaliar a ingestão de nutrientes, desempenho, características de carcaça, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos. O segundo experimento foi desenvolvido com vinte e cinco animais, com idade média de seis meses e peso corporal médio de  $40,0 \pm 3,0$  kg, sobre os quais foi determinado os coeficientes de digestibilidade, balanço de nitrogênio, onde ambos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. O terceiro experimento foi conduzido com cinco cordeiros adultos, canulados no rúmen, com 12 meses de idade e peso médio de  $42,0 \pm 4,0$  kg, os quais foram distribuídos em um quadrado latino  $5 \times 5$ . As variáveis foram analisadas utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS, com significância estatística foi estabelecida em  $P \leq 0,05$ . A composição do substrato de cultivo é modificada à medida que o fungo cresce, de modo que os percentuais de MS, EE, CNF reduziram, enquanto cinzas, PB, FDN, FDA e DIVMS aumentaram. O consumo de nutrientes aumentou de forma quadrática, devido principalmente ao menor tamanho de partícula e consequente redução da permanência da digesta no rúmen. A digestibilidade da MS, MO, PB, FDN e NDT reduziu, devido a maior proporção de componentes indigestíveis, como FDA e lignina nos maiores percentuais de resíduo utilizado. Houve maior ingestão de nitrogênio, com maior excreção fecal de N e redução no N excretado na urina, resultando em maior retenção de nitrogênio, de acordo com os níveis avaliados. pH e nitrogênio amoniacal não foram influenciados, enquanto a população de protozoários reduziu. O desempenho e as características de carcaça também não foram alterados com a substituição do feno pelo resíduo. Variações significativas foram constatadas principalmente para o tempo de alimentação e tempo de ruminação, que refletem as características físicas das dietas, em especial o tamanho de partícula. Não houve alterações dos parâmetros sanguíneos dos animais alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno. Recomenda-se, portanto, a substituição do feno de Tifton – 85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos em até 100%, pois aumentou a retenção de N, além de diminuir a população de protozoários. Embora tenha ocorrido a manutenção do desempenho, houve a redução do farelo de soja da dieta, ingrediente de maior custo.



**PALAVRAS-CHAVE:** Alimentação de ruminantes, Fungos de podridão branca, Resíduos, Substratos lignocelulósicos

**Performance, digestibility, nitrogen balance, ingestive behavior and blood parameters of lambs fed mushroom cultivation residue to replace Tifton-85 hay**

**ABSTRACT**

One experiment was carried out to characterize the mushroom cultivation substrate as a function of fungus growth time and three experiments to determine the best level of replacement of Tifton-85 hay by the mushroom cultivation residue in the diet of confined lambs. To characterize the substrate for mushroom cultivation, the substrate was collected at the mushroom factory at seven ages of fungus inoculation, 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days, and bromatological analysis was carried out. For the animal experiments, five levels of replacement of Tifton-85 hay by the residue from mushroom cultivation were tested, namely: 0, 25, 50, 75 and 100% based on DM. The first animal experiment was carried out with forty crossbred lambs (Santa Ines  $\times$  Dorper) with a mean age of four months and mean body weight of  $27.8 \pm 2.37$  kg, to evaluate nutrient intake, performance, of carcass, ingestive behavior and blood parameters. The second experiment was carried out with twenty-five animals, with a mean age of six months and mean body weight of  $40.0 \pm 3.0$  kg, on which the coefficients of digestibility and nitrogen balance were determined, where both were used in a completely randomized design. The third experiment was conducted with five rumen-cannulated adult lambs, 12 months of age and average weight of  $42.0 \pm 4.0$  kg, which were distributed in a  $5 \times 5$  Latin square. Variables were analyzed using the SAS PROC MIXED procedure, with statistical significance set at  $P \leq 0.05$ . The composition of the cultivation substrate is modified as the fungus grows, so that the percentages of DM, EE, NFC reduced, while ash, CP, NDF, ADF and IVDMD increased. Nutrient consumption increased quadratically, mainly due to the smaller particle size and consequent reduction of digesta permanence in the rumen. The digestibility of DM, OM, CP, NDF and TDN reduced, due to the higher proportion of indigestible components, such as ADF and lignin in the highest percentages of residue used. There was greater nitrogen intake, with greater fecal N excretion and a reduction in N excreted in the urine, resulting in greater nitrogen retention, according to the levels evaluated. pH and ammonia nitrogen were not influenced, while the population of protozoa reduced. The performance and carcass characteristics were also not altered with the replacement of hay by residue. Significant variations were observed mainly for the feeding time and rumination time, which reflect the physical characteristics of the diets, especially the particle size. There were no alterations in the blood parameters of the animals fed with residue from mushroom cultivation instead of hay. It is therefore recommended to replace Tifton-85 hay with mushroom growing residue by up to 100%, as it increased N retention, in addition to decreasing the population of protozoa. Although there was maintenance of performance, there was a reduction of soybean meal in the diet, the ingredient with the highest cost.

**KEYWORDS:** Lignocellulosic substrates Ruminant feeding, Waste, White rot fungi

## INTRODUÇÃO

A busca por alimentos alternativos para a nutrição de ruminantes é importante, não apenas por apresentar uma produção animal mais sustentável, ambiental e economicamente, mas também por garantir mais segurança alimentar humana (Nayan et al., 2018). Por isso, os ingredientes utilizados na formulação das dietas devem competir menos possível com a alimentação humana (Van Kuijk et al., 2015a). O resíduo do cultivo de cogumelos, é uma escolha pertinente para este fim. Uma das vantagens para seu uso é o volume gerado, tomando como exemplo o cultivo de *Pleurotus ostreatus* onde estimativas apontam apenas 20% de produtividade, ou seja, para cada 1 kg de cogumelo fresco gera 5 kg de resíduo potencialmente utilizável (Zied et al., 2021). Este resíduo é formado geralmente à base de resíduos agrícolas ou por um composto pré-formulado para as exigências dos fungos, contendo serragem de madeira e farelos de grãos (Peng 2010). Similarmente à situação global, a produção de cogumelos aumentou no Brasil (FAOSTAT 2018), em resposta às alterações na preferência do consumidor, com ênfase na saúde, bem-estar humano (Singh et al., 2019). Deste modo os cogumelos atendem aos requisitos de alimento saudável, quanto ao teor de proteína, vitaminas e minerais, além de baixo teor de gordura e carboidratos (Rasalanavho et al., 2020).

Em todo o mundo, a produção de cogumelos supera os 34 milhões de toneladas por ano (Royse et al., 2017), gerando um dos maiores volumes de resíduos sólidos fermentados da indústria. Devido ao volume disponível e às altas quantidades de macronutrientes, como fósforo e potássio e micronutrientes, este material é utilizado como condicionador de solo (Zied et al., 2021) e também como combustível para sistemas de produção de bioenergia (Alves et al., 2021). Este subproduto também já é utilizado como recurso alimentar na produção de ruminantes (Rangubhet et al., 2017). O resíduo do cultivo de cogumelos utilizado de forma mais frequente na alimentação animal tem como base resíduos agrícolas, como palha de arroz, palha de trigo e sabugo de milho que são utilizados para o crescimento dos fungos (Kaur et al., 2012; Van Kuijk et al., 2015a). Contudo, a utilização do resíduo proveniente de cultivos a base de serragem e grãos farelados é reduzida. Ainda assim, na formulação de dietas para ruminantes o resíduo do cultivo de cogumelos é utilizado em pequena proporção (Oh et al. 2010; Rangubhet et al. 2017).

Como a maioria dos subprodutos agrícolas que estão disponíveis em várias localidades, com elevados teores de fibra em detergente neutro e lignina (Ribeiro et al., 2018; Mazza et al., 2020), o resíduo do cultivo de cogumelos possui composição semelhante. Entretanto, este subproduto já sofreu ação enzimática durante o crescimento do fungo, e, portanto, o torna um alimento em potencial à alimentação animal (Rangubhet et al., 2017). Uma vez que, enzimas como a lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase, degradam os complexos lignocelulósicos (Platt et al., 1984), aumentando a digestibilidade da fibra, além disso, após a colheita dos cogumelos, permanecem o micélio fúngico, como fonte de proteína remanescente (Van Kuijk et al., 2015a).

A maioria dos estudos que investigam o tratamento fúngico da lignocelulose no entanto, focam nas alterações finais dos resíduos agrícolas, como palha de trigo e arroz (Tuyen et al., 2013; Van Kuijk et al., 2015a; Nayan et al., 2018). Entretanto é importante também entender o processo de degradação e analisar os produtos intermediários oriundos da matriz lignocelulósica durante o período de crescimento do fungo (Van Kuijk et al., 2017), principalmente quando se trata de substratos com alto teor de lignina, cujo ingrediente primário é a serragem. Pois a degradação da lignina e hemicelulose pelas enzimas fúngicas acontece durante o crescimento vegetativo, enquanto a degradação da celulose ocorre durante a produção dos corpos de frutificação (Van Kuijk et al., 2015b). Além disso, os resultados da interação fungo-substrato dependem das características bioquímicas do substrato, da cepa fúngica, além do tempo de fermentação (Tuyen et al., 2012). Os produtos da degradação são compostos fenólicos, principalmente taninos condensados (Rangubhet et al., 2017). Dentre os fungos comestíveis aliados nesse processo tem-se o *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus eryngii*, que são degradadores específicos de componentes lignocelulósicos (Tuyen et al., 2013) e principais espécies utilizadas na degradação de substratos lignocelulósicos.

Neste contexto a utilização dos resíduos do cultivo de cogumelos, que conseqüentemente passaram por uma ação enzimática, através do processo natural de cultivo, pode ser uma alternativa para substituir ingredientes convencionais da dieta de cordeiros, principalmente o volumoso. Somam-se a possíveis vantagens nutricionais e redução de custos à disponibilidade de um alimento para uso em ambiente que apresenta alta sazonalidade da produção forrageira, com destaque as regiões semiáridas (Dzavo et al., 2019; Castillo-Umaña et al., 2020).

Assim, as hipóteses deste estudo são: a composição química do substrato de cultivo de cogumelos é modificada de acordo com os dias de crescimento do fungo; e que, a considerar as características nutricionais do resíduo, este pode substituir 100% da fonte de volumoso na dieta de cordeiro confinados, contribuindo com a melhoria do desempenho dos animais, sem afetar o metabolismo ruminal. Portanto, este estudo foi realizado a fim de caracterizar a composição química do substrato de cultivo de cogumelos de acordo com o crescimento do fungo e investigar os efeitos do resíduo do cultivo de cogumelos substituindo até 100% do feno de Tifton-85 em dietas de cordeiros confinados, sobre o consumo, digestibilidade, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo, parâmetros sanguíneos e desempenho.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado de acordo com as normas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Bahia (UFBA) localizada em São Gonçalo dos Campos, Bahia, Brasil. O projeto de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UFBA (Protocolo nº 54/2019).

### **Localização, animais e procedimentos gerais**

Com objetivo de avaliar o processo de obtenção do resíduo do cultivo de cogumelos foi conduzido um ensaio experimental para estimar a composição química do resíduo, levando em consideração o tempo de inoculação e crescimento do fungo sobre o substrato. O resíduo do cultivo de cogumelos foi oriundo da Hochibra Cogumelos Exóticos®, localizada no Distrito Industrial de Imborés, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil sendo composto por serragem, farelo de milho, farelo de soja e farelo de trigo. Cerca de 85% do resíduo era proveniente do cultivo de *Pleorotus ostreatus* e 15% do cultivo de *Pleorotus eryngii*. Os cogumelos eram cultivados em substratos engarrafados com condições ambientais controladas, de acordo com Peng (2010). O material foi coletado na empresa e, devido ao elevado teor de umidade o resíduo foi desidratado ao sol, e um estudo da curva de desidratação foi conduzido.

Três experimentos foram executados para investigar os efeitos da substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos em dietas para cordeiros confinados. Setenta cordeiros mestiços (Santa Ines × Dorper), não castrados foram tratados contra endo e ectoparasitas (Cydectin®, Moxidectina 0.2%, Fort Dodge®, Fort Dodge, IA, USA) e contra clostridioses com a vacina polivalente (Sintoxan®, Merial, Salvador, Bahia, Brasil). Os animais foram distribuídos em três experimentos. O primeiro experimento foi desenvolvido para avaliar o consumo, desempenho, características de carcaça, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos. O segundo experimento foi conduzido para avaliar a digestibilidade e o balanço de nitrogênio. O terceiro experimento foi desenvolvido para avaliar os parâmetros ruminais (pH, nitrogênio amoniacal e protozoários).

### **Caracterização do substrato de cultivo de cogumelos e curva de desidratação do resíduo**

Para avaliar o processo de produção do resíduo foram coletadas amostras diretamente na fábrica de cogumelos Hochibra Cogumelos Exóticos®. Diariamente a empresa faz a inoculação de esporos destes, e dessa forma tem-se cogumelos em diversas fases de crescimento. Foram utilizadas amostras do cultivo de *P. ostreatus*, que possui 30 dias de duração entre a inoculação e a colheita do cogumelo. As coletas do substrato cultivado aconteceram aos 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de cultivo; cabe considerar que dia 0 é o substrato virgem, enquanto dia 30 é quando o cogumelo é colhido. Para cada dia de crescimento dos cogumelos, foram coletados 5 (cinco) amostras do substrato e, descartados os corpos de frutificação que já estavam visíveis. Estas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e imediatamente encaminhados ao laboratório para a execução das análises.

Após a chegada do resíduo na Fazenda Experimental foram coletadas três amostras representativas para determinação da MS inicial (método 967.03; AOAC 2012). O resíduo do cultivo de cogumelos foi espalhado em lonas plásticas em área plana, em camada de 5 cm e exposto à luz do sol das 8:00 as 17:00 h. O resíduo foi revolvido a cada duas horas para desidratação homogênea e recoberto com lona plástica à noite e diante das possibilidades de chuva. Durante o processo de desidratação foi avaliada a temperatura interna do resíduo em três pontos distintos utilizando termômetro de álcool, e ao mesmo tempo coletadas três amostras com 100 g de material para determinação da matéria seca.

Tais avaliações ocorreram durante o dia, a cada 1 h no primeiro dia e, nos demais a cada 2 h. A exposição ao sol foi interrompida quando o resíduo atingiu teor de MS acima de 800 g/kg (Mazza et al., 2020). Posteriormente foi, ensacado e armazenado para compor as dietas experimentais.

### **Experimento 1: Consumo, desempenho, características de carcaça, comportamento ingestivo e parâmetros sanguíneos**

#### *Animais, manejo, tratamentos e dietas*

Quarenta cordeiros mestiços (Santa Ines × Dorper), , não castrados, com média de 4 meses de idade e peso inicial de  $27,8 \pm 2,37$  kg (média  $\pm$  DP), foram alocados em cinco tratamentos (8 repetições). Os animais foram alojados em baias individuais (1,2 m  $\times$  1,2 m), cobertas, com piso ripado de madeira, com acesso irrestrito às dietas e à água durante o período experimental. O experimento teve duração de 70 dias, precedido de 25 dias de adaptação dos animais às instalações e dietas. Os níveis experimentais consistiram na substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos (0, 25, 50, 75 e 100% com base na MS). O feno utilizado foi triturado em partículas de aproximadamente 5 cm. A mistura concentrada foi composta por milho moído, farelo de soja e sal mineral. As dietas foram ofertadas duas vezes ao dia as 08:00 e 15:00 horas, com volumoso e concentrado misturados (400:600 g/kg MS). As dietas foram formuladas para atender as necessidades nutricionais de cordeiros machos confinados para ganho de 200 g/d seguindo as recomendações do National Research Council (NRC 2007). Amostras das dietas e dos ingredientes utilizados foram coletados e analisados quanto a composição química e tamanho de partícula (Tabelas 1, 2).

Tabela 1 – Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas para cordeiros confinados

Item	Feno Tifton -85	Milho	Farelo de soja	RCC <sup>1</sup>
<b>Composição química (g/kg MS)</b>				
Matéria seca (g/kg matéria natural)	895	880	889	889
Cinzas	60,3	15,4	64,8	104
Proteína bruta	46,3	75,8	435	154
Extrato etéreo	11,7	53,0	19,8	5,90

Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>2</sup>	729	115	108	652
Fibra em detergente ácido <sub>cp</sub> <sup>2</sup>	333	32,3	65,1	475
Proteína insolúvel em detergente neutro <sup>3</sup>	16,4	15,1	10,6	47,5
Proteína insolúvel em detergente ácido <sup>3</sup>	4,07	3,02	1,16	26,2
Carboidratos não-fibrosos <sup>2</sup>	153	741	373	131
Celulose	249	9,2	51,3	311
Hemicelulose	395	82,9	42,4	177
Lignina em detergente ácido	84,2	23,1	13,8	164
Nutrientes digestíveis totais <sup>4</sup>	464	858	804	309

<sup>1</sup>Resíduo do cultivo de cogumelos; <sup>2</sup>Corrigido para cinzas e proteínas; <sup>3</sup>g/kg PB; <sup>4</sup>Valores estimados com base nas equações do NRC (2001).

Tabela 2 – Proporção dos ingredientes, composição química e distribuição das partículas das dietas experimentais utilizadas na alimentação de cordeiros submetidos às dietas com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)				
	0	25	50	75	100
<b>Ingredientes (g/kg MS)</b>					
Milho	395	420	447	473	500
Farelo de soja	190	165	138	113	85
Resíduo do cultivo de cogumelos	0	100	200	300	400
Feno Tifton	400	300	200	100	0
Mistura mineral <sup>1</sup>	15	15	15	15	15
<b>Composição química (g/kg MS)</b>					
Matéria seca (g/kg matéria natural)	890	889	888	887	886
Cinzas	57,5	60,6	63,7	66,8	69,8
Proteína bruta	131	133	134	136	137
Extrato etéreo	29,4	29,6	29,9	30,2	30,5
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>2</sup>	357	350	342	335	327
Fibra em detergente ácido <sub>cp</sub> <sup>2</sup>	158	172	185	198	212
Proteína insolúvel em detergente neutro <sup>3</sup>	225	225	225	225	225
Proteína insolúvel em detergente ácido <sup>3</sup>	51,4	60,6	69,7	78,9	88,1
Lignina em detergente ácido	45,4	53,7	61,9	70,2	78,4
Celulose	113	118	123	128	133
Hemicelulose	199	178	157	136	116
Carboidratos não-fibrosos	425	432	439	446	454
Nutrientes digestíveis totais	677	663	649	635	621
<b>Tamanho da partícula (% MS)<sup>4</sup></b>					
>19 mm	21,8	13,4	6,00	1,23	1,24
8 a 19 mm	13,0	8,66	10,4	7,71	1,95



1,18 a 8 mm	37,3	44,9	47,4	48,7	51,2
<1,18 mm	27,9	33,0	36,2	42,4	45,6
Fator de efetividade física <sup>5</sup>					
pef <sub>8,0</sub> (%)	34,8	22,1	16,4	8,93	3,19
pef <sub>1,18</sub> (%)	72,1	67,0	63,8	57,6	54,4
FDNpe (% MS) <sup>6</sup>					
FDNpe <sub>8,0</sub>	12,4	7,73	5,62	2,99	1,04
FDNpe <sub>1,18</sub>	25,8	23,4	21,9	19,3	17,8

<sup>1</sup>Níveis de garantia (por quilograma, em elementos ativos): cálcio – 120 g; fósforo – 87 g; sódio – 147 g; enxofre – 18 g; cobre – 590 mg; cobalto – 40 mg; cromo – 20 mg; ferro – 1800 mg; iodo – 80 mg; manganês – 1300 mg; selênio – 15 mg; zinco – 3600 mg; molibdênio – 300 mg; flúor (máximo) 870 mg. <sup>2</sup>Corrigido para cinzas e proteínas; <sup>3</sup>g/kg PB; <sup>4</sup>Distribuição do tamanho de partícula das dietas foi medida usando o Penn State Particle Separator (Kononoff et al., 2003); <sup>5</sup>pef<sub>8,0</sub> e pef<sub>1,18</sub> = Fatores de efetividade física determinados como a proporção de partículas retida em 2 peneiras (Lammers et al., 1996) e em 3 peneiras (Kononoff et al., 2003), respectivamente; <sup>6</sup>peNDF<sub>8,0</sub> e peNDF<sub>1,18</sub> = FDN fisicamente efetivo determinado como conteúdo de FDN das dietas multiplicado por pef<sub>8,0</sub> e pef<sub>1,18</sub>, respectivamente.

### *Consumo, desempenho e características de carcaça*

O consumo de MS foi determinado baseado nas quantidades de ração fornecida e sobras registradas durante o período experimental. O ajuste da quantidade de alimento fornecido foi realizado diariamente, com quantidade de sobras aceitável entre 100 e 150 g/kg do total fornecido, de modo a garantir a ingestão *ad libitum*. As sobras foram pesadas diariamente pela manhã e colocadas em sacos de papel etiquetados com o respectivo tratamento e animal; em seguida foram pré-secas a 55 °C durante 72 h. No final do período experimental, as amostras foram então homogeneizadas e moídas em um crivo de 1 mm, com auxílio de um moinho Willey (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Estas amostras foram armazenadas em recipientes plásticos herméticos (Talge, Itajaí, Santa Catarina, Brazil) e selados, até o momento da análise laboratorial. A composição química do alimento efetivamente consumido foi obtida por meio da divisão do consumo de cada nutriente pelo consumo de MS e o quociente foi então multiplicado por 100.

Os cordeiros foram pesados no início e no fim do experimento para determinar o ganho de peso total. A pesagem dos animais foi precedida de 16 horas de jejum de sólidos. O ganho médio diário (GMD) foi obtido pela divisão entre o ganho de peso total e o número de dias do período experimental. A eficiência alimentar (ganho/alimento) foi determinada utilizando o GMD dos cordeiros alimentados com as diferentes dietas divididos consumo médio de matéria seca. Os valores foram expressos em kg/kg.

Os animais foram abatidos seguindo as recomendações do Serviço de Inspeção Federal (S.I.F) para abate humanitário, em conformidade a regulamentação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Normativa nº 03/00, MAPA, Brasil). Após o jejum, iniciou-se o processo de abate, quando os animais foram insensibilizados por eletroanestesia (corrente mínima 1,25 A) com equipamento apropriado (Dal Pino, Santo André, SP, Brasil). Estes então foram suspensos, seguido pelo sangramento através da secção das veias jugulares e artérias carótidas, esfolados e eviscerados. Os pés e a cabeça foram removidos e a carcaça foi pesada para determinar o peso de carcaça quente (PCQ); o rendimento de carcaça quente (RCQ) foi calculado através da equação  $RCQ = [PCQ/\text{peso vivo ao abate (PVA)}] \times 100$ . Posteriormente as carcaças foram direcionadas a uma câmara fria (4 °C) por 24 h e pesadas para determinar peso de carcaça fria (PCF); o rendimento de carcaça fria (RCF) foi calculado pela equação  $RCF = [PCF/PVA] \times 100$ . Pela diferença entre o PCQ e PCF, foram obtidas as perdas por resfriamento.

As carcaças foram seccionadas em cortes comerciais e o *Longissimus dorsi* foi seccionado entre a 12ª e 13ª vertebra, para obter o *Longissimus lumborum*, permitindo, portanto, a exposição do corte transversal do lombo; a avaliação da área de olho de lobo (AOL) foi realizada com auxílio de folha transparência (FILIPAPER, RJ, Rio de Janeiro, Brasil) e caneta adequada. As imagens foram digitalizadas e a área dos pixels foram convertidos em centímetros quadrados, utilizando o software Image Pro-Plus (Media Cybernetics USA). Em seguida os lombos foram dissecados e a espessura de gordura subcutânea (mm) foi aferida utilizando paquímetros digitais.

### *Comportamento ingestivo*

O comportamento ingestivo foi avaliado no 40º dia do período experimental. Para tal, todos os animais foram observados visualmente por 24 h, com observações realizadas a intervalos de cinco minutos. As observações consistiram em ingestão de alimento, ruminação e ócio (Johnson & Combs 1991). Dois observadores treinados se revezaram e se posicionaram para intervir o mínimo possível no comportamento dos cordeiros.

Concomitantemente, outros dois observadores registraram o número de mastigações para cada bolo ruminal, bem como contabilizavam o tempo dispendido em cada bolo, utilizando temporizadores digitais. As observações foram realizadas para cada animal, pela manhã, a tarde e à noite (Polli et al., 1996). O número de bolos mastigados diariamente foi calculado dividindo o tempo total de ruminação (min) pelo tempo médio

gasto para mastigar um bolo. Durante a observação noturna, o ambiente foi mantido sob luz artificial, com prévia adaptação dos animais. As variáveis comportamentais de eficiência de ingestão (EI), eficiência de ruminação (ER) o tempo total de mastigação (TTM, h/dia), assim como a soma do tempo de ingestão e ruminação (TI e TR) foram obtidas seguindo a metodologia proposta por Bürger et al. (2000).

#### *Parâmetros sanguíneos*

No último dia do experimento foi realizada a coleta de sangue dos animais por meio de punção na veia jugular antes da oferta matinal das dietas experimentais, utilizando tubos siliconizados sem anticoagulante (Vacutainer TM). Após a coleta, as amostras de sangue foram enviadas ao laboratório e centrifugadas a  $3.500 \times g$  por 15 minutos e o soro acondicionado em mini-tubos identificados do tipo eppendorf® de 2,0 mL e armazenados em *freezer* a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para a avaliação dos metabólitos sanguíneos, a concentração de proteínas totais (g/dL), albumina (g/dL), colesterol (mg/dL), triglicérides (mg/dL), gama glutamil transferase – GGT (U/L), aspartato aminotransferase – AST (U/L) e alanina aminotransferase – ALT (U/L), foram determinadas utilizando-se kits bioquímicos comerciais (Labtest, Lagoa Santa, MG, Brasil). As concentrações de globulinas foram calculadas pela diferença entre a proteína total e os níveis séricos de albumina e expressos em g/dL.

### **Experimento 2: Digestibilidade e balanço de nitrogênio**

Neste experimento, vinte e cinco cordeiros não castrados com idade média de seis meses e peso inicial médio de  $40,0 \pm 3,0$  kg (média  $\pm$  DP), foram distribuídos em cinco tratamento e cinco repetições. As dietas experimentais foram as mesmas descritas para o Experimento 1. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas ( $0,75\text{ m} \times 1,0\text{ m}$ ) durante 28 dias, sendo 21 dias de adaptação, seguido de 7 dias de coleta de dados, urina e fezes.

#### *Ensaio de digestibilidade*

O ensaio de digestibilidade foi realizado entre os dias 21 e 28 do período experimental. Amostras de sobras, fezes, dieta e urina foram coletadas e quantificadas durante esse período (coleta total). As amostras fecais e de urina foram coletadas em recipientes plásticos individuais, posicionados abaixo das gaiolas metabólicas, os quais permitiam a total separação.

Durante o período de coleta, diariamente as fezes foram pesadas e, em seguida homogeneizadas, e aproximadamente 200 g/kg da massa total da amostra foi retirada e imediatamente direcionada à pré-secagem a 55 °C por 72 h. Em seguida, foram homogeneizadas e moídas a 1 mm utilizando o moinho tipo Willey (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil), e armazenadas em embalagens plásticas hermeticamente fechadas até as análises laboratoriais. Para evitar a volatilização dos compostos nitrogenados da urina, 50 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% foram colocadas em cada recipiente plástico (necessário para manter o pH < 3). O volume de urina foi mensurado a cada período de 24 h e uma alíquota de 10% foi retirada, formando uma amostra composta para todos os dias de coleta; estas foram armazenadas em frascos plásticos a -20 °C. Ao final do período experimental 10 mL de urina da amostra composta foram diluídas em 40 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,036N e novamente congeladas para análise, a fim de quantificar a excreção urinária de nitrogênio (N).

Os coeficientes de digestibilidade (CD) da MS, MO, PB, FDN<sub>cp</sub>, CNF e EE foram calculados através da equação  $CD = [(g \text{ da fração consumida} - g \text{ da fração excretada}) / (g \text{ da fração consumida})] \times 100$ . O consumo de NDT foi obtido de acordo com Sniffen et al. (1992); as concentrações de NDT nas dietas foram calculadas segundo a equação:  $NDT = (NDT \text{ consumido} / \text{Consumo de matéria seca}) \times 100$ .

#### *Balanço de nitrogênio*

Em triplicata, amostras da dieta, sobras, fezes e urina foram determinadas quanto ao teor de nitrogênio de acordo com o método 981.10 da AOAC (2012). O balanço de N (N retido, g/d) foi determinado segundo a equação:  $N \text{ retido (g/d)} = N \text{ ingerido (g/d)} - [N \text{ excretado nas fezes (g/d)} + N \text{ excretado na urina (g/d)}]$ .

### **Experimento 3: Parâmetros de fermentação ruminal e contagem de protozoários**

Cinco cordeiros, adultos, não-castrados, idade aproximada de 12 meses e peso corporal médio de 42,0 ± 4,0 kg, canulados no rúmen foram distribuídos em um quadrado latino 5 × 5. Os animais foram alojados em baias individuais com piso suspenso de madeira ripada, contendo bebedouros e comedouros. As dietas experimentais foram as mesmas descritas para o Experimento 1. O ensaio teve duração de 55 dias, sendo 5 períodos de 11 dias; cada período continha 10 dias de adaptação às dietas e um dia de coleta de fluido ruminal.

Amostras de fluido ruminal (aproximadamente 250 mL) foram coletadas antes da alimentação matutina, e as 2, 4 e 6 horas após a alimentação. O pH ruminal foi mensurado imediatamente após a coleta, utilizando pHmetro (Modelo K39-1014B, Kasvi, São José dos Pinhais, Paraná, Brasil). Para determinar a concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), em cada horário foi coletado uma alíquota de 50 mL de líquido ruminal com 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1, v/v) e congeladas a -20 °C, para análises subsequentes. Cinquenta mililitros de fluido ruminal foram preservados em solução de formaldeído 50% e armazenados em temperatura ambiente na ausência de luz, para contagem de protozoários. A contagem de protozoários foi realizada de acordo a metodologia descrita por Dehority (1993) e adaptada por D'Agosto e Carneiro (1999), em microscópio óptico utilizando câmara de Sedgwick-Rafter Cell S50.

### **Análises químicas**

A composição química dos alimentos (ingredientes e dietas), sobras e fezes, além do substrato nas várias fases de crescimento do cogumelo, foi realizada de acordo com as recomendações da Association of Analytical Chemistry (AOAC 2012), para MS (método 967.03), cinzas (método 942.05), PB (método 981.10) e EE (método 920.29). Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram conduzidas de acordo a metodologia recomendada por Van Soest (1991), seguindo alterações propostas por Senger et al. (2008). Os resíduos do FDN e FDA foram incinerados em mufla a 600 °C por 4 h, para correção de contaminação de cinzas, assim como foram subtraídas a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) de acordo com Licitra et al. (1996). O conteúdo de lignina em detergente ácido (LDA) foi determinado utilizando o método 973.18 (AOAC, 2002), resultado da ação do ácido sulfúrico 72% sobre o resíduo de FDA. OS carboidratos não-fibrosos (CNF) foram estimados de acordo com Mertens (1997). Hemicelulose e celulose foram calculadas pela subtração do teor de FDN pelo teor de FDA e do teor de FDA pelo de lignina, respectivamente. Os teores de NDT descritos nas Tabelas 1 e 2 foram obtidos a partir de equações de estimativas de digestibilidade das frações analíticas FDN, PB, EE e CNF, conforme o NRC (2001). A digestibilidade *in vitro* da matéria seca foi avaliada de acordo com a metodologia descrita por Tilley & Terry (1963) seguindo as modificações propostas por Holden (1999). Para quantificação do N-NH<sub>3</sub>, subamostras do fluido ruminal foram centrifugadas e posteriormente determinada por meio de destilação utilizando um aparelho

de micro Kjeldahl (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil) como descrito por Detmann et al. (2012; método INCT-CA N-007/1).

### **Análises estatísticas**

As análises estatísticas dos dados oriundos da caracterização do substrato quanto aos dias de crescimento dos cogumelos, foram analisadas em um delineamento inteiramente ao acaso, com sete tratamentos (dias após a inoculação) e cinco repetições. O efeito do tempo foi testado utilizando contrastes ortogonais polinomiais lineares e quadráticos.

Os dados obtidos dos experimentos 1 e 2 foram analisados em um delineamento inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos; com oito e cinco repetições por tratamento, respectivamente. O modelo estatístico para ambos os ensaios foi seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + e_{ij},$$

onde:  $Y_{ij}$  = valor observado;  $\mu$  = média geral;  $S_i$  = efeito da substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos (0, 25, 50, 75 e 100% com base na MS);  $e_{ij}$  = efeito do erro experimental. As variáveis foram analisadas utilizando o procedimento PROC MIXED do Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.4. O animal, foi considerado unidade experimental e o efeito da substituição do feno foi testado usando contrastes ortogonais polinomiais lineares e quadráticos.

As análises dos parâmetros pH, concentração de nitrogênio amoniacal, e contagem de protozoários (experimento 3) no fluido ruminal foram conduzidas em delineamento quadrado latino 5 x 5, utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.4. As variáveis pH e N-NH<sub>3</sub> foram analisados com medidas repetidas no tempo, de acordo com seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + a_j + p_k + (Dap)_{ijk} + T_l + (DT)_{il} + e_{ijkl},$$

onde:  $Y_{ijkl}$  = valor observado;  $\mu$  = média geral;  $D_i$  = efeito da substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos;  $a_j$  = período;  $T_l$  = tempo;  $e_{ijkl}$  = efeito do erro experimental. Matrizes de covariâncias foram testadas e escolhidas de acordo com o menor valor do critério de informação de Akaike corrigido (AICC). Contrastes ortogonais polinomiais (linear e quadrático) foram utilizados para examinar os efeitos dos tratamentos, e do tempo sobre as variáveis resposta.

Para todos os dados a significância estatística foi estabelecida em  $P \leq 0,05$ . A homogeneidade das variâncias foi testada para  $P = 0,05$ , e quando significativa, a heterogeneidade foi ajustada no modelo utilizando o comando REPEATED do PROC MIXED.

## RESULTADOS

### Avaliação do processo de desidratação

O processo de desidratação do resíduo do cultivo de cogumelos durou 29 h de exposição a luz solar e demais condições climáticas. A matéria seca inicial foi 34,4% da MN, e foi elevada através da desidratação a 83,9% na MN (Figura 1).

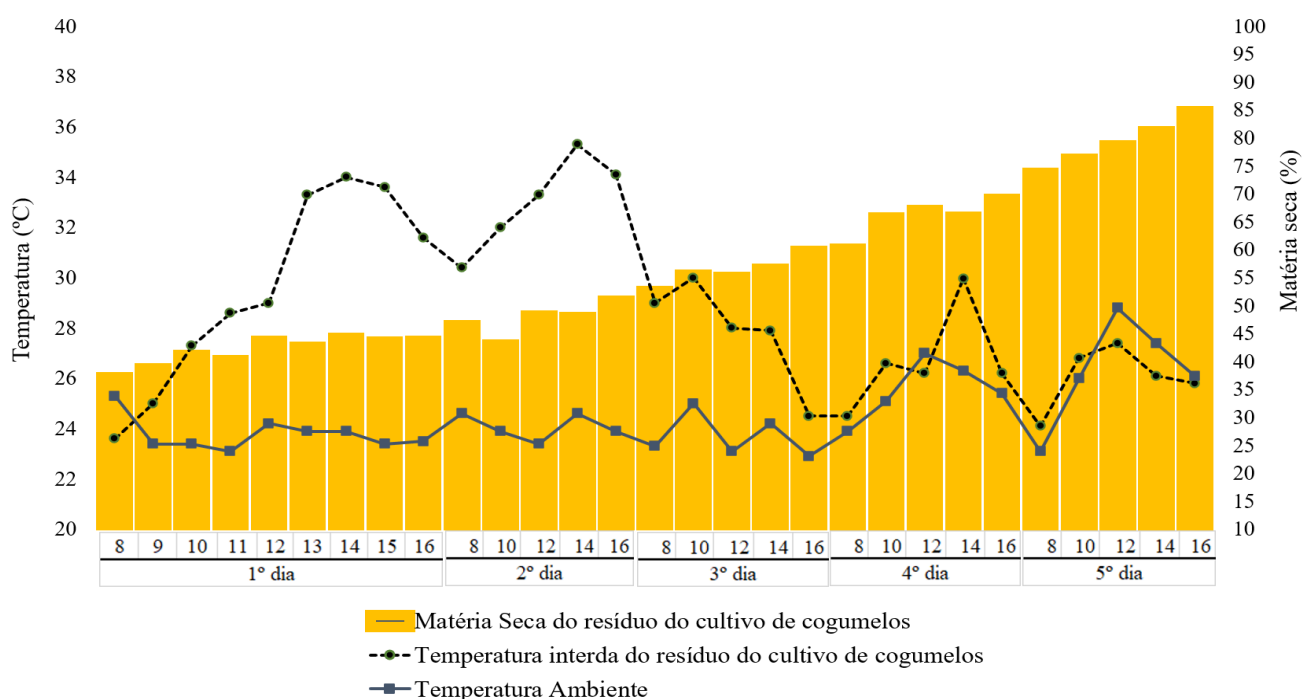


Figura 1 – Curva de desidratação do resíduo do cultivo de cogumelos.

A temperatura ambiente se manteve estável até o 3º dia, somente a partir do 4º dia aumentou, o que permitiu acelerar o processo de desidratação. O pico de temperatura interna do resíduo aconteceu às 14:00 do 2º dia (35,0 °C), enquanto a menor temperatura às 8:00 h do 5º dia (24,1 °C).

### Caracterização do substrato de cultivo de cogumelos

O tempo de crescimento dos cogumelos influenciou a composição bromatológica do substrato, sobre todos os itens estudados (Tabela 3). Os teores MS ( $P < 0,001$ ;  $-0,078x + 33,13$ ), EE ( $P < 0,001$ ;  $-0,052x + 1,93$ ) e CNF ( $P < 0,001$ ;  $-0,289x + 17,38$ ) reduziram linearmente, enquanto as cinzas ( $P = 0,018$ ;  $0,042x + 6,06$ ), PB ( $P < 0,001$ ;  $0,024x + 13,81$ ),



FDN ( $P < 0,001$ ;  $0,273x + 60,96$ ), FDA ( $P < 0,001$ ;  $0,225x + 34,82$ ) e a DIVMS ( $P < 0,001$ ) aumentaram de forma linear. O percentual de hemicelulose não foi afetado ( $P = 0,055$ ).

Tabela 3 – Composição química dos substratos de cultivo de cogumelos em função dos dias de inoculação

Item	Dias de inoculação							EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	5	10	15	20	25	30		Linear	Quadrática
Matéria seca <sup>3</sup>	33,2	33,5	33,6	30,1	30,1	30,7	32,5	0,556	<0,001	0,002
Cinzas <sup>4</sup>	6,02	6,62	5,93	6,93	6,75	7,69	7,01	0,226	0,018	0,878
Proteína <sup>4</sup> Bruta	13,8	13,5	14,1	14,8	14,6	14,2	14,3	0,282	0,030	0,092
Extrato etéreo <sup>4</sup>	1,93	1,74	1,48	1,09	0,71	0,61	0,52	0,046	<0,001	0,004
Fibra em detergente neutro <sup>4</sup>	62,2	63,2	61,8	64,6	65,2	66,8	71,1	0,308	<0,001	0,004
Fibra em Detergente Ácido <sup>4</sup>	35,7	36,2	35,0	35,0	39,5	40,0	42,5	0,765	<0,001	0,032
Hemicelulose <sup>4</sup>	26,7	26,9	25,6	26,6	27,2	27,1	28,7	0,747	0,055	0,118
Carboidratos não fibrosos <sup>4</sup>	15,8	15,1	17,4	12,8	12,8	10,4	6,98	0,565	<0,001	<0,001
DIVMS <sup>5</sup>	43,2	46,6	47,0	39,6	39,5	40,1	40,1	0,685	<0,001	<0,001

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ ; <sup>3</sup>% da matéria natural; <sup>4</sup>% MS; <sup>5</sup>Digestibilidade *in vitro* da matéria seca (%).

### Consumo e digestibilidade dos nutrientes, desempenho e características de carcaça

A substituição do feno pelo resíduo do cultivo de cogumelos aumentou o consumo diário de MS ( $P = 0,043$ ), MO ( $P = 0,049$ ), PB ( $P = 0,036$ ), FDN<sub>cp</sub> ( $P = 0,045$ ) e NDT ( $P = 0,045$ ), observado, com efeito quadrático, estes com consumo máximo nos níveis 70,5, 74,0, 61,3, 74,3 e 61,1%, respectivamente, (CMS =  $1529,4 \text{ g/d}$ ;  $- 0,049x^2 + 6,9181x + 1285,45$ ); (CMO =  $1458,7 \text{ g/d}$ ;  $- 0,04526x^2 + 6,7034x + 1210,46$ ); (CPB =  $212,5 \text{ g/d}$ ;  $- 0,00711x^2 + 0,8714x + 185,79$ ); (CFDN<sub>cp</sub> =  $474,4 \text{ g/d}$ ;  $- 0,01546x^2 + 2,2988x + 388,99$ ); (CNDT =  $1050,3 \text{ g/d}$ ;  $- 0,03327x^2 + 4,0689x + 925,88$ ) (Tabela 3). Para o consumo de CNF ( $P = 0,001$ ; equação de regressão:  $1,184x + 620,69$ ) e EE ( $P = 0,001$ ; equação de regressão:  $0,076x + 43,33$ ) um aumento linear foi observado. O consumo de MS e FDN<sub>cp</sub>, quando expressos em g/kg PV, também comportou-se de forma linear crescente ( $P = 0,001$ ; equação de regressão:  $0,051x + 37,20$ ) e ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $0,019x + 11,28$ ), respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 – Consumo de nutrientes, coeficiente de digestibilidade e balanço de nitrogênio (N) de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	<i>P</i> -valor <sup>2</sup>		
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática	
Consumo (g/dia)									
Matéria seca	1299	1403	1499	1566	1469	54,7	0,006	0,043	
Matéria orgânica	1224	1326	1423	1495	1412	51,9	0,002	0,049	
Proteína bruta	187	201	209	216	200	7,61	0,105	0,036	
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>3</sup>	395	425	465	486	458	17,4	0,002	0,045	
Carboidratos não-fibrosos	600	654	701	741	704	25,7	0,001	0,058	
Extrato etéreo	42,4	45,1	48,5	51,3	49,3	1,75	0,001	0,137	
Nutrientes digestíveis totais	940	979	1048	1070	987	37,4	0,125	0,045	
Consumo (g/kg PV)									
Matéria seca	36,5	38,4	41,0	41,8	41,1	1,17	0,001	0,113	
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>3</sup>	11,1	11,6	12,7	13,0	12,8	0,38	<0,001	0,128	
Coeficiente de digestibilidade (%)									
Matéria seca	71,4	68,1	67,4	64,8	62,6	0,80	<0,001	0,916	
Matéria orgânica	73,5	71,0	70,6	68,9	67,4	0,70	<0,001	0,798	
Proteína bruta	74,7	69,1	66,4	60,1	56,3	1,06	<0,001	0,972	
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>3</sup>	57,8	51,4	50,5	45,5	43,5	1,27	<0,001	0,343	
Carboidratos não-fibrosos	81,3	80,9	81,4	82,3	81,0	0,97	0,814	0,726	
Extrato etéreo	89,4	90,9	95,0	94,1	94,5	0,83	<0,001	0,041	
Nutrientes digestíveis totais	72,3	69,8	69,9	68,3	67,2	0,09	<0,001	0,001	
Balanço de nitrogênio (g/dia)									
N ingerido	30,3	37,8	39,2	36,7	39,0	1,54	0,004	0,024	
N excretado nas fezes	7,68	11,6	13,1	14,7	16,4	0,58	<0,001	0,069	
N excretado na urina	10,8	9,20	7,14	5,97	3,68	0,81	<0,001	0,998	
N retido	11,8	17,0	18,9	16,1	18,9	1,27	0,004	0,062	

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ ; <sup>3</sup>Corrigido para cinzas e proteínas.

Os coeficientes de digestibilidade da MS ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,0834x + 71,05$ ), MO ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,0568x + 71,13$ ), PB ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,1832x + 74,48$ ), FDN<sub>cp</sub> ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,1380x + 56,64$ ) e NDT ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,0468x + 71,83$ ), EE ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $-0,0523x + 90,22$ ) reduziram linearmente; enquanto a

digestibilidade do CNF não foi afetada ( $P = 0,814$ ). O consumo de N aumentou ( $P = 0,024$ ) até 68,6% de substituição, com consumo máximo de 39,2 g/d;  $- 0,00169x^2 + 0,232x + 31,286$ . A excreção fecal de N aumentou linearmente ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $0,0828x + 8,57$ ), bem como o N retido ( $P < 0,004$ ; equação de regressão:  $0,0539x + 1385$ ), enquanto o N urinário ( $P < 0,001$ ; equação de regressão:  $- 0,0686x + 10,84$ ) reduziu (Tabela 4).

Quanto a composição química da dieta efetivamente consumida, observou-se que o percentual de PB na dieta consumida reduziu ( $P < 0,001$ ;  $- 0,009x + 14,45$ ), de EE apresentou comportamento quadrático negativo ( $P < 0,001$ ;  $0,00003x^2 - 0,0023x + 3,26$ ), enquanto FDN<sub>cp</sub> ( $P < 0,008$ ;  $0,009x + 30,32$ ) e CNF ( $P < 0,001$ ;  $0,017x + 46,08$ ) aumentaram (Tabela 5). Adicionalmente, houve redução da diferença entre nutriente ofertado e consumido para PB ( $P < 0,001$ ;  $-0,014x + 1,352$ ), FDN<sub>cp</sub> ( $P < 0,001$ ;  $0,039x - 5,41$ ) e CNF ( $P < 0,001$ ;  $-0,012x + 3,65$ ). O EE ( $P < 0,001$ ;  $0,00003x^2 - 0,0033x + 0,32$ ) apresentou comportamento quadrático negativo.

Tabela 5 – Composição da dieta efetivamente consumida e diferença percentual entre o ofertado e consumido por cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
Composição química da dieta efetivamente consumida (%)								
Proteína bruta	14,4	14,4	14,0	13,8	13,6	0,06	<0,001	0,700
Extrato etéreo	3,27	3,21	3,23	3,28	3,36	0,02	<0,001	<0,001
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>3</sup>	30,4	30,3	31,1	31,0	31,2	0,26	0,008	0,679
Carboidratos não-fibrosos	46,1	46,6	46,7	47,3	48,0	0,19	<0,001	0,234
Diferença % entre a composição do alimento ofertado e consumido								
Proteína bruta	1,36	1,06	0,55	0,24	-0,06	0,05	<0,001	0,097
Extrato etéreo	0,33	0,25	0,24	0,26	0,30	0,02	0,358	<0,001
Fibra em detergente neutro <sub>cp</sub> <sup>3</sup>	-5,36	-4,68	-3,18	-2,44	-1,58	0,26	<0,001	0,682
Carboidratos não-fibrosos	3,69	3,48	2,78	2,65	2,33	0,17	<0,001	0,306

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ ; <sup>3</sup>Corrigido para cinzas e proteínas.

O resíduo do cultivo de cogumelos nas dietas de cordeiros substituindo o feno não alterou o pH ( $P = 0,691$ ) e a concentração de nitrogênio amoniacal ( $P = 0,920$ ), mas reduziu a população de protozoários no fluido ruminal ( $P = 0,002$ ; Tabela 6). Também não ocorreu efeito de interação entre os tratamentos e tempo de coleta, mas demonstraram efeito do tempo de coleta para o pH e N-amoniacal (Figura 2).

Tabela 6 - Parâmetros ruminais de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	<i>P</i> -valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
pH	6,25	6,31	6,15	6,35	6,28	0,035	0,691	0,681
N-NH <sub>3</sub>	13,3	16,9	11,1	12,9	15,0	0,457	0,920	0,593
Protozoários (x 10 <sup>6</sup> /mL)	2,00	1,72	1,21	1,62	1,22	0,048	0,002	0,185

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ .

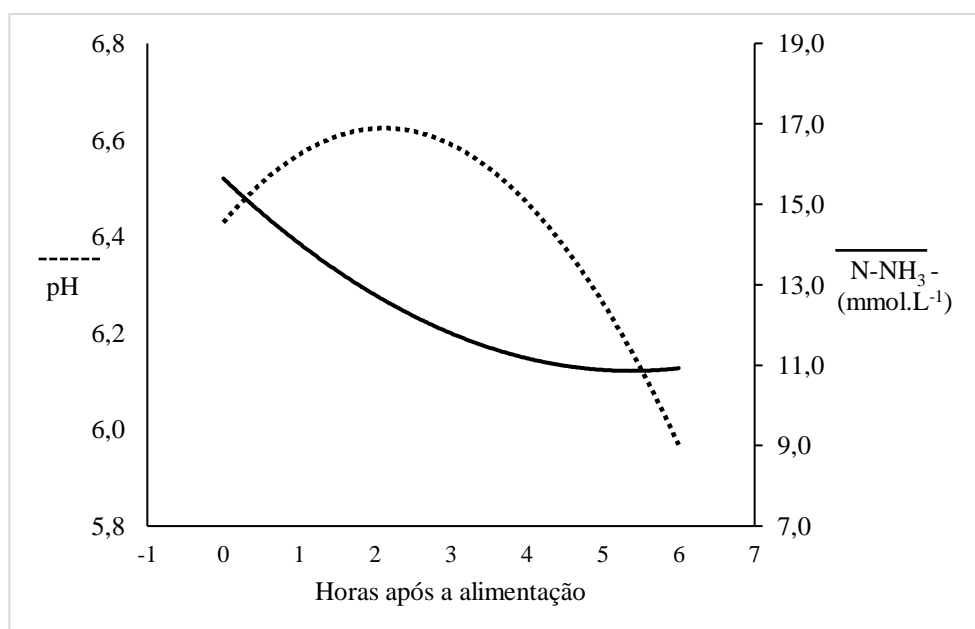


Figura 2 – pH e concentração de nitrogênio amoniacal no rúmen de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

A substituição do feno pelo resíduo do cultivo de cogumelos não afetou o desempenho (Tabela 7) dos cordeiros confinados: PF ( $P = 0,216$ ), GMD ( $P = 0,212$ ) e eficiência alimentar ( $P = 0,577$ ). Também não houve diferença entre as dietas testadas para as características de carcaça, PCQ ( $P = 0,687$ ), RCQ ( $P = 0,457$ ), PCF ( $P = 0,731$ ), RCF ( $P = 0,385$ ), PF ( $P = 0,260$ ), EGS ( $P = 0,796$ ) e AOL ( $P = 0,865$ ).

Tabela 7 – Desempenho e características de carcaça de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
Peso inicial (kg)	27,6	28,6	27,8	28,0	27,3	0,91	-	-
Peso final (kg)	44,0	44,1	45,3	46,8	44,4	0,46	0,216	0,166
Ganho médio diário (g/d)	230	232	249	271	237	12,9	0,212	0,166
Eficiência alimentar (kg/kg)	0,18	0,16	0,17	0,17	0,17	0,01	0,577	0,550
Peso de carcaça quente (kg)	20,7	21,1	21,6	22,2	20,6	0,57	0,687	0,084
Rendimento de carcaça quente (%)	47,4	47,4	47,7	47,2	46,7	0,64	0,457	0,450
Peso de carcaça fria (kg)	20,6	20,9	21,4	21,9	20,4	0,56	0,731	0,099
Rendimento de carcaça fria (%)	47,1	47,0	47,3	46,7	46,4	0,64	0,385	0,584
Perda por resfriamento (%)	0,54	0,92	0,79	1,08	0,72	0,15	0,260	0,062
EGS <sup>3</sup> (mm)	2,66	2,38	2,88	2,13	2,67	0,29	0,796	0,710
AOL <sup>4</sup> (cm <sup>2</sup> )	16,5	16,0	18,2	17,2	16,2	1,26	0,865	0,370

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ ; <sup>3</sup>EGS = espessura de gordura subcutânea; <sup>4</sup>AOL = área de olho de lombo.

### Comportamento ingestivo

O tempo de alimentação em min/dia ( $P = 0,008$ ;  $0,490x + 178,13$ ) e em min/kg MS ( $P = 0,042$ ;  $0,246x + 130$ ) aumentaram com a substituição do feno de Tifton pelo resíduo do cultivo de cogumelos, enquanto o tempo despendido para ingestão em min/kg FDN ( $P = 0,319$ ) não alterou (Tabela 8). Por outro lado, o tempo de ruminação em min/dia ( $P < 0,001$ ;  $-2,710x + 526,63$ ) e em min/kg MS ( $P < 0,001$ ;  $-2,298x + 391,49$ ) e min/kg FDN ( $P < 0,001$ ;  $-7,735x + 1288,77$ ) reduziram. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o número de mastigações merísticas por bolo ( $P = 0,285$ ) ou tempo gasto ruminando cada bolo ( $P = 0,593$ ). Observou-se ainda a redução linear do número de mastigações por dia ( $P < 0,001$ ;  $-152,88x + 27521+$ ), no tempo de mastigações por dia (min/dia) ( $P < 0,001$ ;  $-2,22 + 704,75$ ), na atividade mastigatória em min/kg MS ( $P < 0,001$ ;  $-2,129x + 524,08$ ) e min/kg FDN ( $P < 0,001$ ;  $-7,30x + 175,1$ ). Ocorreu aumento no tempo de ócio ( $P < 0,001$ ;  $2,22x + 735,25$ ) à medida que aumentou a participação do resíduo do cultivo de cogumelos na dieta de cordeiros confinados.

Tabela 8 – Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
<b>Alimentação</b>								
min/dia	173	178	234	208	219	13,70	0,008	0,181
min/kg MS	134	129	157	133	163	9,28	0,042	0,624
min/kg FDN	439	425	506	429	492	33,98	0,319	0,977
<b>Ruminação</b>								
min/dia	522	434	416	367	217	18,20	<0,001	0,029
min/kg MS	403	310	280	235	153	14,95	<0,001	0,895
min/kg FDN	1329	1025	901	761	494	50,54	<0,001	0,755
<b>Mastigações</b>								
nº/bolo	75,0	69,5	71,6	65,8	67,7	5,32	0,285	0,720
seg/bolo	44,9	39,2	42,1	36,9	43,5	2,96	0,593	0,139
nº/dia	29423	19924	21308	16904	11823	2834	<0,001	0,775
min/dia	695	613	650	575	436	20,68	<0,001	0,006
min/kg MS	537	439	437	369	306	19,41	<0,001	0,960
min/kg FDN	1768	1450	1407	1190	986	65,59	<0,001	0,822
<b>Ócio</b>								
min/dia	745	828	790	865	1004	20,68	<0,001	0,006

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ .

A substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos não alterou o número de períodos de alimentação ( $P = 0,075$ ), mas diminuiu o número diário de ruminação ( $P < 0,001$ ;  $-0,107x + 31,52$ ) e ócio ( $P = 0,001$ ;  $-0,064x + 40,48$ ) (Tabela 9). A duração de cada alimentação (min) ( $P = 0,897$ ) não sofreu influência das dietas experimentais; o tempo gasto ruminando ( $P < 0,001$ ;  $-0,050x + 17,29$ ) em cada período diminuiu enquanto o tempo gasto em ócio ( $P < 0,001$ ;  $0,105x + 17,82$ ) aumentou. Cordeiros alimentados com níveis de resíduo do cultivo de cogumelos reduziram a taxa de ingestão de matéria seca (g MS/h) ( $P = 0,053$ ;  $-0,712x + 471,49$ ), enquanto a taxa de ingestão de FDN (g FDN/h) não foi alterada ( $P = 0,113$ ). Durante a ruminação a quantidade de bolos ruminados ( $P < 0,001$ ;  $-3,299x + 742,44$ ) por dia diminuiu, em contrapartida, as

taxas de ruminação em g MS/h ( $P < 0,001$ ;  $2,13x + 135,27$ ) e g FDN/h ( $P < 0,001$ ;  $0,678x + 40,75$ ) aumentaram.

Tabela 9 – Número de períodos e tempo médio gasto por período nas atividades de alimentação, ruminação e ócio por cordeiros alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos em substituição ao feno

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
Números de períodos (nº/dia)								
Alimentação	10,9	11,6	16,3	12,3	14,1	1,24	0,075	0,177
Ruminação	31,0	28,4	27,3	24,9	19,4	1,24	<0,001	0,141
Ócio	39,3	38,8	40,0	36,1	32,5	1,43	0,001	0,043
Tempo despendido por período (min)								
Alimentação	16,3	16,7	13,6	18,5	15,7	1,50	0,897	0,773
Ruminação	17,2	15,4	15,4	14,8	11,2	0,79	<0,001	0,143
Ócio	19,3	21,6	19,2	24,2	31,2	1,24	<0,001	0,001
Alimentação								
g MS/h	461	479	398	460	379	28,47	0,053	0,612
g FDN/h	140	145	123	143	118	8,61	0,113	0,577
Ruminação								
Bolos/dia	663	694	607	608	304	38,82	<0,001	<0,001
g MS/h	150	194	218	265	286	17,65	<0,001	0,083
g FDN/h	45,7	58,8	67,7	82,6	120,0	5,60	<0,001	0,088

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ .

### *Parâmetros sanguíneos*

Não houve alterações nas concentrações séricas de proteínas totais ( $P = 0,673$ ), albumina ( $P = 0,297$ ), globulina ( $P = 0,779$ ) e a relação albumina/globulina (Tabela 10). Da mesma forma a substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos não afetou as concentrações de colesterol ( $P = 0,117$ ) e triglicérides ( $P = 0,486$ ), e também permaneceram inalteradas as atividades das enzimas GGT ( $P = 0,558$ ), AST ( $P = 0,060$ ) e ALT ( $P = 0,965$ ).

Tabela 10 – Níveis séricos de proteínas totais, albumina, globulina, relação albumina/globulina (A:G), colesterol, triglicérides, gama-glutamiltransferase (GGT),

aspartato-aminotransferase (AST) e alanina-aminotransferase (ALT) de cordeiros alimentados

Item	Níveis de substituição do feno (%)					EPM <sup>1</sup>	P-valor <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadrática
Proteínas totais (g/dL)	7,03	7,12	7,19	6,89	6,91	0,34	0,673	0,701
Albumina (g/dL)	3,13	3,11	3,36	3,16	3,13	0,06	0,297	0,130
Globulina (g/dL)	3,92	4,01	3,83	4,13	3,72	0,31	0,779	0,649
Relação A:G	0,91	0,78	0,91	0,80	0,90	0,08	0,986	0,578
Colesterol (mg/dL)	60,6	48,3	46,7	51,6	48,9	3,99	0,117	0,094
Triglicérides (mg/dL)	16,1	17,2	20,6	16,7	18,2	1,73	0,486	0,332
GGT (U/L)	71,9	66,5	66,9	72,9	73,3	5,20	0,588	0,385
AST (U/L)	92,5	92,9	95,5	87,6	77,3	5,86	0,060	0,151
ALT (U/L)	7,86	9,88	7,63	8,00	8,88	1,12	0,965	0,936

<sup>1</sup>EPM = erro padrão da média; <sup>2</sup>Significância até  $P \leq 0,05$ .

## DISCUSSÃO

A desidratação do resíduo do cultivo de cogumelos foi exitosa, embora nos primeiros dois dias houve reduzida incidência luminosa e em alguns momentos possibilidade de chuva. Isso contribuiu para a demora no processo de desidratação, e talvez justifique também o aumento da temperatura interna do resíduo nos primeiros dias, mesmo havendo o revolvimento periódico do material. Ainda assim, a temperatura máxima observada não foi suficiente para alterar a qualidade do alimento, pois a reação de Maillard é favorecida acima dos 40 °C (Francisquini et al., 2017).

O comportamento observado para as frações fibrosas em função dos dias de inoculação foi diferente do esperado. O fungo comestível *P. ostreatus* (fungo de podridão branca) cujo substrato foi utilizado neste ensaio, é especializado na degradação simultânea da lignina e celulose (Shrivastava et al., 2011). Logo, o relativo aumento dos percentuais de FDN e FDA demonstram que a degradação pode não ter ocorrido. Entretanto, Van Kuijk et al. (2015b) afirmam que, embora a expressão dos dados do substrato com biomassa fúngica em porcentagem da MS sejam importantes para a nutrição animal, não são expressivos para compreender os processos que ocorrem durante o crescimento fungo. Dessa forma, o ideal é utilizar valores absolutos de perda matéria seca e ver os reais



componentes que foram degradados. Assim, seria possível verificar que, as concentrações de FDN e FDA não teriam aumentado em função do crescimento fúngico, e sim devido ao aumento da degradação de outros componentes dos substratos. A redução do teor de CNF, adicionalmente, ajuda a explicar esse comportamento, uma vez que, este componente é mais facilmente degradado. Do mesmo modo, as quantidades absolutas de proteína não mudam, pois os fungos são incapazes de fixar nitrogênio do ar (Millbank 1969), logo o aumento deste nutriente ao longo do crescimento dos cogumelos ocorre proporcionalmente, em virtude também da redução de outros componentes degradados. Vale ressaltar, a qualidade da proteína pode ser melhorada após a colheita dos cogumelos, pois permanece o micélio vegetativo, que contém significativas quantidades de cisteína e metionina (Hadar & Cohen-Arazi 1986).

A substituição do feno de tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos, contribuiu para a redução da proporção de farelo de soja nas dietas, principal fonte proteica, em contrapartida destaca-se o aumento da participação do milho moído. O consumo máximo de MS ocorreu quando houve 70,5% de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos. À medida que se elevou o percentual de substituição, houve redução do tamanho de partícula das dietas (Tabela 2), dados que justificam o aumento do CMS, pois provavelmente aumentou a taxa de passagem (Van Soest 1994) e ocasionou um menor preenchimento ruminal (Jeon et al., 2019). A posterior redução do CMS ainda dentro dos níveis estudados refletem também a regulação química (Forbes 1993), provocada pela ingestão de CNF, o qual proporcionou maior disponibilidade de energia dietética para os cordeiros. Como verificado, o CNF apresentou maior percentual no nível 100% de substituição (Tabela 2). Deste modo, o consumo voluntário pode ser afetado por fatores físicos (enchimento do trato gastrointestinal) ou fisiológicos (saciedade química), os quais podem estar associados ou não (Jeon et al., 2019; Queiroz et al., 2021). O consumo de matéria orgânica, CPB, e  $CFDN_{cp}$ , CNDT acompanharam o CMS, mesmo tendo reduzindo os teores de  $FDN_{cp}$  e energia nas dietas, quando elevado os percentuais do resíduo. O consumo de carboidratos não-fibrosos e extrato etéreo aumentou, ambos em função do ligeiro aumento dos respectivos nutrientes nas dietas; consequência do aumento da proporção de milho moído na mistura.

Adicionalmente, observa-se a partir da dieta efetivamente consumida, o percentual de PB ingerida reduziu, com o aumento do resíduo na dieta, no qual é possível destacar que, nos níveis iniciais a dieta consumida continha mais PB que o ofertado, e nos níveis

finais aproximou ao percentual formulado. Tais informações permitem inferir que, na presença do feno de Tifton-85 os animais preferiram o concentrado, ao invés do volumoso; em contrapartida, à medida que se reduz o feno e aumenta o resíduo, não é mais possível a seleção do alimento (em função do menor tamanho de partícula), o que torna o consumo de PB semelhante ao ofertado. De igual modo, comportou-se o consumo de CNF, com redução do CNF ingerido, embora em todos os tratamentos o consumo efetivo foi maior que o ofertado. A diferença negativa entre o percentual de  $FDN_{cp}$  efetivamente consumido e ofertado também atesta a opção dos animais pelo concentrado (que possui maior teor de PB e menor de  $FDN_{cp}$ ).

Com exceção da digestibilidade do CNF e EE, as digestibilidades de todos os demais nutrientes foram reduzidas linearmente em até 100% de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos. A redução da digestibilidade de MS e  $FDN_{cp}$  foi decorrente da maior proporção de componentes indigestíveis como FDA e lignina nas dietas; o aumento da taxa de passagem resultante da gradativa redução do tamanho de partículas (Tabela 2) também contribuíram para redução da digestibilidade destes nutrientes. A redução da digestibilidade da FDN pode estar relacionada ainda à redução da população de bactérias que degradam a fibra (Abdullah et al., 2018), consequência da possível ação de taninos condensados presentes no resíduo (Park et al., 2014). Durante o crescimento, os cogumelos secretam enzimas lignolíticas, como a lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase (Janusz et al. 2015), que degradam a lignocelulose gerando compostos fenólicos, como os taninos condensados (Rangubhet et al., 2017). Na presença de taninos, estes podem interferir na digestibilidade da fibra, pois as bactérias fibrolíticas são gram-positivas, e estas são mais sensíveis à penetração destes compostos, em função da ausência da membrana externa de proteção (Silva et al., 2017).

O resíduo do cultivo de cogumelos apresenta valores elevados de PIDN, e este foi determinante para a redução da digestibilidade da PB, pois, com o maior percentual de resíduo verificou-se a menor digestibilidade do nutriente. Além disso, os taninos presentes no resíduo formam no rúmen complexos taninos-proteínas, e sob condições ácidas do abomaso são dissociados (Patra & Saxena 2010). Ainda assim, em condições neutras de pH do intestino delgado podem novamente complexar à proteína endógena, microbiana e/ou proteína não degradável no rúmen, reduzindo a digestão das proteínas no trato gastrointestinal total (Hagerman et al., 1992; Pimentel et al., 2021). Além disso, taninos

podem inibir a capacidade das enzimas endógenas de fragmentar proteínas em aminoácidos e dificultar sua absorção (Waghorn 2008).

O aumento da digestibilidade do EE foi provavelmente consequência do aumento da ingestão de EE, que tende a diluir as perdas endógenas, tornando estas menos significativas em relação ao consumido, e deste modo aumenta-se a digestibilidade (Palmquist 1991; Ribeiro et al., 2018). Apesar do aumento do consumo e da digestibilidade da fração lipídica, esta não foi capaz de compensar a redução da digestibilidade dos outros nutrientes. Isso, somado à estabilidade da digestibilidade dos CNF, resultou na redução do teor de NDT das dietas experimentais.

O comportamento do N ingerido foi semelhante ao consumo de PB, influenciado pela massa de matéria seca consumida. A quantidade de N excretado nas fezes aumentou com a substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos e, inversamente, a excreção urinária de N diminuiu. O aumento do N fecal ocorreu devido à redução da digestibilidade da PB. Considerando a redução da taxa e extensão da degradação das proteínas no rúmen, na presença de taninos condensados (Mezzomo et al., 2011), tem-se menores concentrações N-NH<sub>3</sub> no rúmen (Agle et al., 2010), e consequentemente redução na conversão à ureia no fígado, sendo excretado menos N na urina (Jennings et al., 2018). É possível ainda inferir que tenha ocorrido maior sincronia entre a degradabilidade dos carboidratos e proteínas (Qiao et al., 2018), nos maiores percentuais de resíduo, melhorando o aproveitamento das proteínas dietéticas pelos microrganismos ruminais, reduzindo de igual modo a produção de amônia no rúmen e excreção de N via urina.

Apesar da maior quantidade de N excretado nas fezes, maior proporção de N retido foi observado nos animais alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos, indicando maior eficiência no uso do N. Tais diferenças na quantidade e rotas de excreção de N tem forte influência na retenção de N, e este é considerado o índice mais comum do status proteico de ruminantes (Chanjula et al., 2016). Importante considerar, como verificado neste estudo, e anteriormente descrito na literatura (Van Kuijk et al., 2015a) que a biomassa microbiana proveniente de fungos pode ser usada como fonte alternativa de proteína. E esta é uma proteína contida no micélio fúngico, de alto valor biológico, uma vez que, Hadar & Cohen-Arazi (1986) observaram valores de cisteína (13,4 mg/g de micélio seco) e de

metionina (5,9 mg/g de micélio seco) no micélio de *P. ostreatus*, cogumelo cujo resíduo de cultivo compõem 85% do resíduo utilizado nessa pesquisa.

Os valores observados de pH ruminal, apesar de não ter alterado com as dietas experimentais, foi mantida dentro da faixa fisiológica de cerca de 5,5 – 7,0 (Krause & Oetzel 2006). A variação do pH ruminal ao longo do dia observada neste estudo ocorre devido a produção de ácidos graxos de cadeia curta a partir da fermentação, cuja intensidade varia de acordo com o tipo de alimentação e intervalo de tempo no qual é ofertada (Mazza et al., 2020). As propriedades antimicrobianas dos taninos resultaram na redução da população de protozoários, havendo uma provável modulação da fermentação ruminal (Waghorn 2008; Cieslak et al., 2013). Estes resultados tornam ainda indicativos de uma provável redução nas emissões de metano, uma vez que, Rangubhet et al. (2017) também verificaram significativa redução da população de protozoários e emissão metano entérico em novilhos alimentados com dietas a base de resíduo do cultivo de cogumelos.

Apesar do aumento no CMS, CPB e N retido, tais resultados não refletiram no desempenho dos animais alimentados com resíduo do cultivo de cogumelos. O CMS variou de 1299 a 1566 g/d (0 e 75% de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos, respectivamente), valores superiores ao previsto pelo NRC (2007), que descreve um consumo de 1000 a 1300 g/d para cordeiros de peso corporal similar ao deste estudo. Os animais submetidos a todas as dietas alcançaram GMD superior ao previsto (200g/d). Isso ocorreu provavelmente devido a seleção do alimento concentrado, com maior teor de proteína nos primeiros níveis de substituição; nos níveis subsequentes em função do aumento do CMS. A eficiência alimentar é uma variável dependente do CMS e do ganho de peso, mas neste caso não foi alterada. Tais resultados demonstram que o resíduo do cultivo de cogumelos pode substituir o volumoso da dieta, mantendo o mesmo desempenho dos animais.

O estudo do comportamento ingestivo é uma importante ferramenta, que a partir dos resultados, permitem o ajuste de técnicas de alimentação e manejo para melhorar o desempenho produtivo dos animais (Correia et al., 2015), principalmente quando se trata de uma nova alternativa alimentar. Neste estudo, com o aumento dos níveis de substituição do feno pelo resíduo do cultivo de cogumelos houve também aumento do tempo alimentação, tanto em min/dia quanto min/kg de MS. Com o aumento da participação do resíduo e consequente redução do feno diminuiu-se o tamanho de partícula, bem como o

FDN<sub>pe</sub> (Tabela 2). Os achados deste estudo contradizem os relatos de Wang et al. (2017), quando o aumento do tamanho de partícula e FDN<sub>pe</sub> elevou o tempo de alimentação. O FDN<sub>pe</sub> está relacionado às características físicas da fibra que afetam tanto o tempo de alimentação quanto a atividade mastigatória, pois permitem que os animais passem mais tempo mastigando partículas longas (Wang et al., 2017). É possível inferir, portanto, que as divergências dos resultados deste estudo quando comparados à literatura, devem-se ao aumento da taxa de passagem, impondo um acréscimo do CMS e consequente tempo de alimentação, a fim de atender as exigências do animal.

A redução no tempo de ruminação em min/dia, min/kg MS e min/kg FDN são consequências da redução do tamanho de partícula das dietas, e também da redução dos teores de FDN<sub>cp</sub> (Tabela 2), à medida que aumentou a presença do resíduo do cultivo de cogumelos nas dietas. Uma vez que, é bem conhecido que há uma correlação positiva entre as variações do tamanho de partícula e atividade de ruminação (Zhao et al., 2011). Adicionalmente, Carvalho et al. (2011) também suportam que os teores de FDN e a composição dessa fibra influenciam as atividades comportamentais, principalmente ruminação. Quanto às atividades de mastigação, as reduções do número de mastigações por dia, do tempo de mastigações por dia e na atividade mastigatória podem ser explicados pelos menores teores de FDN<sub>cp</sub>, à medida que se substituiu o volumoso pelo resíduo do cultivo de cogumelos. As variações no tempo despendido para ócio são dependentes das variações do tempo de alimentação e ruminação, além disso, quando os animais alcançam seu requerimento nutricional, por consequência, elevam o tempo de ócio (Macedo et al., 2007).

Os animais que consumiram a dieta com maior teor de fibra tiveram mais períodos de ruminação e também passaram mais tempo por período ruminando. Tais variáveis possuem relação direta, o aumento de uma implica no aumento da outra (Carvalho et al., 2017). A eficiência de ingestão de MS e FDN correlacionam positivamente com os níveis de fibra das dietas (Cardoso et al., 2006), fato que justifica os resultados deste estudo. A eficiência de ruminação depende também do tamanho de partícula, e do teor de fibra da dieta, e dessa forma há uma necessidade de processamento da digesta ruminal para elevar a eficiência (Dado & Allen 1995). Por este motivo, houve aumento da eficiência de ruminação em g MS/h e g FDN/h, afinal com aumento dos níveis de substituição, reduziu-se o tamanho de partícula, estando semelhante ao dos alimentos concentrados padrão.

Quanto aos parâmetros sanguíneos, a ausência de alterações quantidade nas concentrações de proteínas totais (g/dL) e albumina demonstram que os animais não estavam em estado de deficiência nutricional, pois a redução destes estão relacionados à deficiência proteica na alimentação (Kaneko et al., 1997). Não houve efeito das enzimas plasmáticas ALT e AST em função dos níveis de substituição do feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos; portanto, é possível supor a ausência de danos ao fígado, músculos ou rins. Afinal, pode-se inferir local e grau de dano celular a partir da atividade dessas enzimas, pois o aumento destas está ligado a lesões hepáticas de origens diversas (González et al., 2000). Por outro lado, os valores de GGT discorrem sobre a integridade do fígado. Os valores de ALT e AST estão dentro do intervalo de referência proposto por Boyd (1984). Os valores de GGT, entretanto foram superiores ao intervalo proposto pelo autor (19,6 – 44,1 U/L), mas não é possível afirmar que foram causados pela dieta, pois todos os tratamentos apresentam valores similares.

## CONCLUSÕES

A composição química do substrato de cultivo varia de acordo com o tempo crescimento do fungo. É possível substituir em 100% o feno de Tifton-85 pelo resíduo do cultivo de cogumelos, pois aumentou o consumo de matéria seca, a retenção de N e reduziu a população de protozoários, sem afetar o ganho de peso e a eficiência alimentar. A substituição até 100% diminuiu a participação do farelo de soja, ingrediente de maior custo na dieta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdullah, M. A. M., Farghaly, M. M., Youssef, I. M. I. Effect of feeding *Acacia nilotica* pods to sheep on nutrient digestibility, nitrogen balance, ruminal protozoa and rumen enzymes activity. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 102, n. 3, p. 662-669, 2018.

Agle, M., Hristov, A. N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P., Vaddella, V. K. The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 4, p. 1625-1637, 2010.

Boyd, J. W. The interpretation of serum biochemistry test results in domestic animals. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 13, n. 2, p. 7-14, 1984.

Bürger, P. J., Pereira, J. C., Queiroz, A. C. D., Coelho da Silva, J. F., Valadares Filho, S. D. C., Cecon, P. R., Casali, A. D. P. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 236-242, 2000.

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 19th ed. Washington, DC, USA, 2012.

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis**. 16th ed. Washington, DC, USA, 2002.

Carvalho, G. G. P., Rebouças, R. A., Campos, F. S., Santos, E. M., Araújo, G. G. L., Gois, G. C., Oliveira, J. S., Oliveira, R. L., Rufino, L. M., Azevedo, J. A. G., Cirne, L. G. A. Intake, digestibility, performance, and feeding behavior of lambs fed diets containing silages of different tropical forage species. **Animal Feed Science and Technology**, v. 228, p. 140-148, 2017.

Carvalho, G. G. P. D., Garcia, R., Pires, A. J. V., Detmann, E., Ribeiro, L. S. O., Chagas, D. M. T., Silva, R. R., Pinho, B. D. Comportamento ingestivo em caprinos alimentados com dietas contendo cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1767-1773, 2011.

Castillo-Umaña, M., Balocchi, O., Pulido, R., Sepúlveda-Varas, P., Pacheco, D., Muetzel, S., Berthiaume, R., Keim, J. P. Milk production responses and rumen fermentation of dairy cows supplemented with summer brassicas. **Animal**, v. 14, n. 8, p. 1684-1692, 2020.

Correia, B. R., de Carvalho, G. G. P., Oliveira, R. L., Pires, A. J. V., Ribeiro, O. L., Silva, R. R., Leão, A. G., Rodrigues, C. S. Feeding behavior of feedlot-finished young bulls fed diets containing peanut cake. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, n. 6, p. 1075-1081, 2015.

Chanjula, P., Pongprayoon, S., Kongpan, S., Cherdthong, A. Effects of crude glycerin from waste vegetable oil supplementation on feed intake, ruminal fermentation characteristics, and nitrogen utilization of goats. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 5, p. 995-1004, 2016.

Cieslak, A., Szumacher-Strabel, M., Stochmal, A., Oleszek, W. Plant components with specific activities against rumen methanogens. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 253-265, 2013.

Dado, R. G., Allen, M. S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 1, p. 118-133, 1995.

D'Agosto, M., Carneiro, M.E. Evaluation of lugol solution used for counting rumen ciliates. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, n. 3, p. 725-729, 1999.

Dehority, B.A. Laboratory **Manual for Classification and Morphology of Rumen Ciliate Protozoa**. CRC Press, 1993.

Detmann, E., Souza, M. D., Valadares Filho, S. C., Queiroz, A. C., Berchielli, T. T., Saliba, E. O. S., Cabral, L. S., Pina, D. S., Ladeira, M. M., Azevedo, J. A. G. Métodos para análise de alimentos. **Visconde do Rio Branco: Suprema**, v. 214, 2012.

Dzavo, T., Zindove, T. J., Dhliwayo, M., & Chimonyo, M. Effects of drought on cattle production in sub-tropical environments. **Tropical Animal Health and Production**, v. 51, n. 3, p. 669-675, 2019.

FAOSTAT, F. FAOSTAT Statistical Database. Publisher: **FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)**, Rome, Italy, 2018.

Forbes, J. M. Voluntary feed intake. In: Forbes, J. M., France, J. (Eds.) **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Cambridge: University Press. p.479-494, 1993.

Francisquini, J. D. A., Martins, E., Silva, P. H. F., Schuck, P., Perrone, Í. T., Carvalho, A. F. Reação de Maillard: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.

González, F. H. D., Barcellos, J.O., Patiño. H.O., Ribeiro. L. A. 2000. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. **Gráfica Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 108p

Hadar, Y., Cohen-Arazi, E. Chemical composition of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* produced by fermentation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 51, n. 6, p. 1352-1354, 1986.



Hagerman, A. E., Robbins, C. T., Weerasuriya, Y., Wilson, T. C., McArthur, C. Tannin chemistry in relation to digestion. **Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives**, v. 45, n. 1, p. 57-62, 1992.

Holden, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 8, p. 1791-1794, 1999.

Janusz, G., Czuryło, A., Frąc, M., Rola, B., Sulej, J., Pawlik, A., Siwulski, M., Rogalski, J. Laccase production and metabolic diversity among *Flammulina velutipes* strains. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, n. 1, p. 121-133, 2015.

Jennings, J. S., Meyer, B. E., Guioy, P. J., Cole, N. A. Energy costs of feeding excess protein from corn-based by-products to finishing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 653-669, 2018.

Jeon, S., Jeong, S., Lee, M., Seo, J., Kam, D. K., Kim, J. H., ... & Seo, S. Jeon, S., Jeong, S., Lee, M., Seo, J., Kam, D. K., Kim, J. H., Park, J., Seo, S. Effects of reducing inclusion rate of roughages by changing roughage sources and concentrate types on intake, growth, rumen fermentation characteristics, and blood parameters of Hanwoo growing cattle (*Bos Taurus coreanae*). **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 32, n. 11, p. 1705, 2019.

Johnson, T. R., Combs, D. K. Effects of prepartum diet, inert rumen bulk, and dietary polyethylene glycol on dry matter intake of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 3, p. 933-944, 1991.

Kaneko, J. J., Harvey, J. W., Bruss, M. L. **Clinical biochemistry of domestic animals**. Academic press, 2008.

Kaur, K., Wadhwa, M., Bakshi, M. P. S., Kapoor, S. Nutritional evaluation of *Pleurotus florida* and *Pleurotus sajor-caju* harvested spent wheat-rice straw as livestock feed. **Indian Journal of Animal Sciences**, v. 82, n. 9, p. 1033, 2012.

Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J., Buckmaster, D. R. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 5, p. 1858-1863, 2003.

Krause, K. M., Oetzel, G. R. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 126, n. 3-4, p. 215-236, 2006.

Lammers, B. P., Buckmaster, D. R., Heinrichs, A. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922-928, 1996.

Licitra, G., Hernandez, T. M., Van Soest, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 347-358, 1996.

Macedo, C. A. B. D., Mizubuti, I. Y., Moreira, F. B., Pereira, E. S., Ribeiro, E. L. D. A., Rocha, M. A. D., Ramos, B. M. O., Mori, M. R., Pinto, A. P., Alves, T. P., Casimiro, T. R. Comportamento ingestivo de ovinos recebendo dietas com diferentes níveis de bagaço de laranja em substituição à silagem de sorgo na ração. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1910-1916, 2007.

Mazza, P. H. S., Jaeger, S. M. P. L., Silva, F. L., Barbosa, A. M., Nascimento, T. V. C., Hora, D. I. C., Silva Junior, J. M., Bezerra, L. R., Oliveira, R. L. Effect of dehydrated residue from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit pulp in lamb diet on intake, ingestive behavior, digestibility, ruminal parameters and N balance. **Livestock Science**, v. 233, p. 103938, 2020.

Mertens, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. 7, p. 1463-1481, 1997.

Mezzomo, R., Paulino, P. V. R., Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., Monnerat, J. P. I. S., Duarte, M.S., Silva, L. H. P., Moura, L. S. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. **Livestock Science**, v. 141, n. 1, p. 1-11, 2011.

Millbank, J. W. Nitrogen fixation in moulds and yeasts—a reappraisal. **Archiv für Mikrobiologie**, v. 68, n. 1, p. 32-39, 1969.

Nayan, N., Sonnenberg, A. S., Hendriks, W. H., Cone, J. W. Screening of white-rot fungi for bioprocessing of wheat straw into ruminant feed. **Journal of Applied Microbiology**, v. 125, n. 2, p. 468-479, 2018.

NRC. **Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids**. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA. 2007.

NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed.rev. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA. 381p. 2001.

Oh, Y. K., Lee, W. M., Choi, C. W., Kim, K. H., Hong, S. K., Lee, S. C., Seol, Y. J., Kwak, W. S. Choi, N. J. Effects of spent mushroom substrates supplementation on rumen fermentation and blood metabolites in Hanwoo steers. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 23, n. 12, p. 1608-1613, 2010.

Palmquist, D. L. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 4, p. 1354-1360, 1991.

Park, Y. J., Baek, J. H., Lee, S., Kim, C., Rhee, H., Kim, H., Seo, J. S., Park, H.R., Yoon, D. E., Nam, J. Y., Kim, H. I., Kim, J. G., Yoon, H., Kang, H. W., Cho, J. Y., Song, E. S., Sung, G. H., Yoo, Y. B., Lee, C. S., Lee, B. M., Kong, W. S. Whole genome and global gene expression analyses of the model mushroom *Flammulina velutipes* reveal a high capacity for lignocellulose degradation. **PLoS one**, v. 9, n. 4, p. e93560, 2014.

Patra, A. K., Saxena, J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 1, p. 24-37, 2011.

Peng, J.T. Overview and prospects of edible and medicinal mushrooms: production, consumption, and marketing in Taiwan. **International Training Course on Edible Mushroom Production for Asian Farmer and Entrepreneurs**, November 22-23, 2010 at TARI, Taiwan, 2010.

Pimentel, P. R. S., de Pellegrini, C. B., Galvão, J. M., Brant, L. M. S., Ribeiro, C. V. D. M., Silva, T. M., Barbosa, A. M., Silva Junior, J. M., Bezerra, L. R., Oliveira, R. L. Performance, digestibility, nitrogen balance and ingestive behaviour of goat kids fed diets supplemented with condensed tannins from *Acacia mearnsii* extract. **Animal Production Science**, 2021.

Platt, M. W., Hadar, Y., Chet, I. Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 150-154, 1984.

Polli, V. A, Restle, J., Senna, D. B., Almeida, S. R. S. Aspects of rumination of cattle and buffaloes in feedlot. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 25, p. 987-993, 1996.

Qiao, G. H., Xiao, Z. G., Li, Y., Li, G. J., Zhao, L. C., Xie, T. M., Wang, D. W. Effect of diet synchrony on rumen fermentation, production performance, immunity status and endocrine in Chinese Holstein cows. **Animal Production Science**, v. 59, n. 4, p. 664-672, 2018.

Queiroz, L. D. O., Barbosa, A. M., Mourão, G. B., Fonseca, M. A., Pinto, L. F. B., da Silva Júnior, J. M., Silva, T. M., Lima, A. G. V. O., Bezerra, L. R., Oliveira, R. L. Performance, carcass traits and meat quality of lambs fed with different roughage: concentrate ratios associated with variable physically effective neutral detergent fibre content. **The Journal of Agricultural Science**, p. 1-11, 2021.

Rangubhet, K. T., Mangwe, M. C., Mlambo, V., Fan, Y. K., Chiang, H. I. Enteric methane emissions and protozoa populations in Holstein steers fed spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substrate silage-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 234, p. 78-87, 2017.

Rasalanavho, M., Moodley, R., Jonnalagadda, S. B. Elemental bioaccumulation and nutritional value of five species of wild growing mushrooms from South Africa. **Food Chemistry**, p. 126596, 2020.

Ribeiro, R. D. X., Oliveira, R. L., Oliveira, R. L., de Carvalho, G. G. P., Medeiros, A. N., Correia, B. R., Silva, T. M., Bezerra, L. R. Part 1: nutrient intake and utilization, growth performance and carcass traits. **Small Ruminant Research**, v. 165, p. 17-23, 2018.

Senger, C. C., Kozloski, G. V., Sanchez, L. M. B., Mesquita, F. R., Alves, T. P., Castagnino, D. S. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 1-2, p. 169-174, 2008.

Shrivastava, B., Thakur, S., Khasa, Y. P., Gupte, A., Puniya, A. K., Kuhad, R. C. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. **Biodegradation**, v. 22, n. 4, p. 823-831, 2011.

Alves, L. S., de Moreira, B. R. A., Viana, R. S., Pardo-Gimenez, A., Dias, E. S., Noble, R., Zied, D. C. Recycling spent mushroom substrate into fuel pellets for low-emission bioenergy producing systems. **Journal of Cleaner Production**, p. 127875, 2021.

Silva, C. S., De Souza, E. J. O., Pereira, G. F. C., Cavalcante, E. O., De Lima, E. I. M., Torres, T. R., Da Silva, J. R., Da Silva, D. C. Plant extracts as phytogetic additives considering intake, digestibility, and feeding behavior of sheep. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 2, p. 353-359, 2017.

Singh, K. M., Ahmad, N., Sinha, D. K., Mishra, R. R. Augmenting Income and Employment through Mushroom production: A micro-level study of Samastipur district of Bihar (India). **Indian Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 3, p. 4389-4392, 2019.

Tilley, J. M. A., Terry, D. R. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Grass and Forage Science**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

Tuyen, D. V., Cone, J. W., Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S. M., Hendriks, W. H. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 336-342, 2012.

Tuyen, D. V., Phuong, H. N., Cone, J. W., Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S. M., Hendriks, W. H. Effect of fungal treatments of fibrous agricultural by-products on chemical composition and in vitro rumen fermentation and methane production. **Bioresource technology**, v. 129, p. 256-263, 2013.

Van Kuijk, S. J., Sonnenberg, A. S., Baars, J. J., Hendriks, W. H., José, C., Rencoret, J., Gutiérrez, A., Ruijter, N. C. A., Cone, J. W. Chemical changes and increased degradability of wheat straw and oak wood chips treated with the white rot fungi *Ceriporiopsis subvermispora* and *Lentinula edodes*. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 381-391, 2017.

Van Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H., Cone, J. W. Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: a review. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 1, p. 191-202, 2015a.

Van Kuijk, S. J., Sonnenberg, A. S., Baars, J. J., Hendriks, W. H., Cone, J. W. Fungal treatment of lignocellulosic biomass: importance of fungal species, colonization and time

on chemical composition and in vitro rumen degradability. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 40-50, 2015b.

Van Soest, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Cornell university press, 1994.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

Waghorn, G. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. **Animal Feed Science and Technology**, v. 147, n. 1-3, p. 116-139, 2008.

Wang, H. R., Chen, Q., Chen, L. M., Ge, R. F., Wang, M. Z., Yu, L. H., Zhang, J. Effects of dietary physically effective neutral detergent fiber content on the feeding behavior, digestibility, and growth of 8-to 10-month-old Holstein replacement heifers. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 2, p. 1161-1169, 2017.

Zhao, X. H., Zhang, T., Xu, M., Yao, J. H. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 2, p. 501-509, 2011.

Zied, D. C., de Abreu, C. G., Alves, L. D. S., Prado, E. P., Pardo-Gimenez, A., de Melo, P. C., Dias, E. S. Influence of the production environment on the cultivation of lettuce and arugula with spent mushroom substrate. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111799, 2021.

## **CAPTCHER 02**

---

**Effect of dietary mushroom cultivation residue on the physicochemical composition, fatty acid profile and sensorial attributes of lamb meat**

Este artigo foi submetido e, portanto, encontra-se nas normas da Revista  
Livestock Science



## **Effect of dietary mushroom cultivation residue on the physicochemical composition, fatty acid profile and sensorial attributes of lamb meat**

**ABSTRACT:** Forty crossbred (Santa Ines  $\times$  Dorper) male lambs with initial body weight of  $27.8 \pm 2.37$  kg were used to investigate the effect of dietary mushroom cultivation residue (0, 25, 50, 75, and 100% as DM) replacing Tifton-85 hay on growth, meat quality, fatty acid composition and sensory attributes. Mushroom cultivation diet replacing Tifton-85 hay did not change the slaughter weight, pH, color, water holding capacity, shear force, centesimal composition of the *longissimus lumborum* muscle. Cooking loss of content, C18:2 $n-6$  and C20:4 $n-6$ ,  $\Sigma$ PUFA,  $\Sigma n-6$  and the  $\Sigma$ PUFA: $\Sigma$ SFA and  $\Sigma$ PUFA: $\Sigma$ MUFA ratios decreased quadratically. There was a linear increase in *t*-11–C18:1 and CLA and a quadratic increase in DMI, elongase activity and sensory attributes (tenderness, juiciness and overall acceptance) of meat. Thus, it is recommended to replace Tifton-85 hay with mushroom residue in the diet of lambs to provide greater PUFA concentrations, especially CLA, which has numerous benefits for human health, without compromising the meat physicochemical attributes.

**KEYWORDS:** Byproduct; Consumer appeal; Spent mushroom substrate

### **1. INTRODUCTION**

Recent changes in consumer behavior, such as increased per capita income, health awareness and preference for sustainable products, have boosted mushroom consumption (Singh, et al., 2019). The mushroom is a food rich in high-quality protein, a source of minerals and B vitamins and completely fat free (Rasalanavho et al., 2020). These factors contribute to the significant increase in the worldwide production of mushrooms (Faostat, 2018; Royseet et al., 2017) and the consequent increase in waste production. Disposal of the substrate used for cultivation has become a problem since for every 300 g of mushrooms, there is 1 kg of waste (Park et al., 2014).

This residue has been used as an agricultural organic substrate (Nakatsuka et al., 2016) and for solid fuel production (Baharin et al., 2020). The use of mushroom waste in the feeding of ruminants (Rangubhet et al., 2017; Van Kuijk et al., 2015) has proven to be a viable alternative for agricultural production. The constitution of the substrate is variable, although the main components are lignocellulosic materials such as sawdust, wheat straw,

rice straw and corn cobs (Nakatsuka et al., 2016; Van Kuijk et al., 2015), which confer neutral detergent fiber (NDF) contents greater than 65% (Rangubhet et al., 2017; Kim et al., 2015), and corn bran, soybean and wheat can still be added.

The presence of enzyme complexes in mushroom strains of the genus *Pleurotus*, such as cellulase, hemicellulase, cellobiase, laccase and ligninase (Tsang et al., 1987; Platt et al., 1984), is responsible for fiber degradation. Thus, the residue from mushroom cultivation may contain higher percentages of free sugars and proteins (Sharma and Arora, 2015), in addition to cellulose and hemicellulose, which are more accessible to the rumen microbiota due to the delignifying action of these fungi (Van Kuijk et al., 2015). The enzymatic action on the residue can also produce phenolic compounds when lignin is degraded (Rangubhet et al., 2017), and these can be decisive in reducing ruminal biohydrogenation, contributing to a greater flow of unsaturated fatty acids (UFA) to the intestine, with subsequent absorption and meat deposition.

The use of mushroom residues in the diet of ruminants has been an advantageous alternative, allowing the replacement of conventional ingredients and ensuring an improvement in meat quality (Huang et al., 2021). In addition to the phenolic compounds arising from enzymatic action, other bioactive compounds inherent to fungal mycelia, such as terpenes, can modify ruminal fermentation and microbial ecology (Mizuno, 1995). Thus, essential fatty acids such as CLA can be deposited in meat, improving its quality due to the limitation of the biohydrogenation process. In addition, increased PUFA deposition (C18:2 $n-6$ ) can improve sensory characteristics such as sheep odor (Zhang et al., 2020), attributes that can determine consumer acceptance (Oltra et al., 2015). Considering the availability of the residue, the nutritional characteristics and the purpose of providing better quality meat to consumers, we hypothesize that lambs fed with residue from mushroom cultivation, replacing hay, produce meat with a greater amount of PUFA, mainly conjugated linoleic acid (CLA), in addition to other nutraceutical compounds, with better quality from a health point of view, that are attractive to the consumer due to better sensory attributes.

Therefore, to test this hypothesis, this study was carried out with the objective of determining the amount of hay that can be replaced by the residue from mushroom cultivation in the diet of lambs through the analysis of physicochemical composition, FA profile and sensory attributes of the *longissimus lumborum* muscle.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Ethical considerations

This study was conducted at the Federal University of Bahia in strict accordance with the recommendations of the Guide of the National Council for the Control of Animal Experiments regarding the procedures for the care and handling of animals. The execution was approved by the Animal Experimentation Ethics Committee of the Federal University of Bahia, Bahia, Brazil (Protocol No. 54/2019). The slaughter followed the recommendations of the Federal Inspection Service (SIF) recommended by the Ministry of Agriculture and Livestock and Supply from Brazil (Brazil, 2000) and ethical considerations.

### 2.2. Animals, diets and general procedures

Forty noncastrated Santa Ines × Dorper crossbred males with a mean body weight of  $27.8 \pm 2.37$  kg (mean  $\pm$  SD) were allocated to a completely randomized design with five levels and eight replicates.

The experimental diets (treatments) consisted of 0, 25, 50, 75, and 100% DM replacement of Tifton-85 hay with mushroom residue. The roughage to concentrate ratio was 40:60; the concentrated mixture was composed of ground corn, soybean meal and mineral mixture (Table 2). The residue from the mushroom cultivation came from Hochibra Cogumelos Exóticos® and was composed of sawdust, ground corn, soybean meal and wheat bran. Approximately 85% of the residue came from the cultivation of *Pleurotus ostreatus*, and 15% came from the cultivation of *Pleurotus eryngii*.

The animals were housed in a covered shed and individual pens, with access to water and experimental diets *ad libitum*. The animals were fed twice a day (8:00 and 15:00 h) and adjusted daily to allow 10 g/100 g as fed refusals. Diets were formulated to meet the nutritional needs of confined lambs for a gain of 200 g/d, following the recommendations of the National Research Council (NRC, 2007).

The experimental period was 70 days, preceded by 25 days of adaptation of the animals to the environment, management and diets. During this period, the lambs were treated against external and internal parasites (Cydectin®, Moxidectin 0.2%, Fort Dodge®, Fort Dodge, IA, USA) and against clostridiosis with the polyvalent vaccine (Sintoxan®, Merial, Salvador, Bahia, Brazil).

Table 1 - Chemical composition of ingredients used in lamb diets

Item	Ingredients			
	Tifton–85 hay	Soybean meal	Ground corn	Mushroom residue
Chemical composition (g/kg DM)				
Dry matter (g/kg as fed)	895	880	889	889
Ash	60.3	15.4	64.8	104
Crude protein	46.3	75.8	435	154
Ether extract	11.7	53.0	19.8	5.90
Neutral detergent fiber <sub>ap</sub> <sup>1</sup>	729	115	108	652
Acid detergent fiber	333	32.3	65.1	475
NDIP <sup>2</sup>	354.1	198.8	24.4	308.5
ADIP <sup>2</sup>	88.0	39.9	2.70	169.7
Non-fibrous carbohydrates	153	741	373	131
Cellulose	249	9.2	51.3	311
Hemicellulose	395	82.9	42.4	177
Acid lignin detergent	84.2	23.1	13.8	164

<sup>1</sup>corrected for ash and protein

<sup>2</sup>Neutral detergent insoluble protein; Acid detergent insoluble protein

Table 2 - Ingredient proportion, chemical and fatty acids composition of experimental lamb diets including of mushroom residue replacing Tifton-85 hay

Item	Mushroom residue replacing Tifton–85 hay (%)				
	0	25	50	75	100
Ingredient (g/kg DM)					
Ground corn	395	420	447	473	500
Soybean meal	190	165	138	113	85
Mushroom residue	0	100	200	300	400
Tifton–85 hay	400	300	200	100	0
Mineral mixture <sup>1</sup>	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Chemical composition (g/kgDM)					
Dry matter (g/kgas fed)	890	889	888	887	886
Ash	57.5	60.6	63.7	66.8	69.8
Crude protein	131	133	134	136	137

Ether extract	29.4	29.6	29.9	30.2	30.5
Neutral detergent fiber <sub>ap</sub> <sup>2</sup>	357	350	342	335	327
Acid detergent fiber <sub>ap</sub> <sup>2</sup>	158	172	185	198	212
Neutral detergent insoluble protein <sup>3</sup>	225	225	225	225	225
Acid detergent insoluble protein <sup>3</sup>	51.4	60.6	69.7	78.9	88.1
Acid detergent lignin	45.4	53.7	61.9	70.2	78.4
Cellulose	113	118	123	128	133
Hemicellulose	199	178	157	136	116
Nonfiber carbohydrates	425	432	439	446	454
Total digestible nutrients	677	663	649	635	621
Fatty Acid composition (g/100 g FAME) <sup>4</sup>					
C8:0	1.21	1.25	1.27	1.40	1.53
C10:0	2.55	2.83	2.39	2.72	2.02
C12:0	1.09	1.22	1.20	1.12	1.17
C16:0	16.02	15.71	15.28	15.94	14.50
C16:1 <sub>cis-9</sub>	0.21	0.19	0.26	0.21	0.20
C18:0	1.98	1.76	1.90	1.79	1.96
C18:1 <sub>cis-9</sub>	32.49	33.31	34.19	34.09	34.57
C18:2 <sub>n-6</sub>	41.67	40.88	41.64	40.13	41.45
C18:3 <sub>n-3</sub>	1.43	1.31	1.25	1.13	1.24

<sup>1</sup>Assurance levels (per kilogram of active elements): 120 g of calcium, 87 g of phosphorus, 147 g of sodium, 18 g of sulfur, 590 mg of copper, 40 mg of cobalt, 20 mg of chromium; 1,800 mg of iron, 80 mg of iodine; 1,300 mg of manganese, 15 mg of selenium; 3,800 mg of zinc, 300 mg of molybdenum; maximum 870 mg of fluoride

<sup>2</sup>corrected for ash and protein

<sup>3</sup>(g/kg CP)

<sup>4</sup>FAME = Fatty acid methyl ester

### 2.3. Chemical analysis of feeds

The chemical composition of the ingredients (Table 1) and diets (Table 2) was determined according to the analytical methods of the Association of Analytical Communities (AOAC, 2012) for dry matter content (DM; method 967.03), ash (method 942.05), crude protein (PB; method 981.10) and ethereal extract (EE; method 920.29). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined following

the methods of Van Soest et al. (1991) with changes proposed by Senger et al. (2008) for the use of an autoclave. The NDF and ADF residues were incinerated in a muffle at 600 °C for 4 hours to correct ash contamination, and the neutral detergent insoluble protein (NDIP) and the acid detergent insoluble protein (ADIP) were subtracted from the NDF and ADF, respectively, according to Licitra et al. (1996). The lignin content in acid detergent (ADL) was determined using method 973.18 (AOAC, 2002) as a result of the action of 72% sulfuric acid on the ADF residue. Nonfibrous carbohydrates (NFCs) were estimated according to Mertens (1997) using the NDF value corrected for ash and protein. Hemicellulose and cellulose were calculated by subtraction.

#### 2.4. Growth performance, procedure for slaughtering and obtaining *longissimus lumborum*

The animals were weighed on an electronic scale (Welmy, W 300, Salvador, Bahia, Brazil) after a 16-h fast, on the first day of the experiment and every 20 days. The refusals were also ground, and DM was determined as described above to determine dry matter intake (DMI). At the end of the experiment, after a 16-h feeding fasting period, the animals were weighed (slaughter BW) and slaughtered, and then the average daily gain (ADG) was obtained.

The animals were stunned with appropriate equipment (Dal Pino, Santo André, SP, Brazil) by electronarcosis (minimum current 1.25 A). Then, the carcasses were suspended, bled, skinned and eviscerated. The head and feet were removed, and the initial pH (pH 0) was measured (in triplicate) in the *longissimus lumborum* muscle using a digital potentiometer (Model HI99163, HANNA Instruments, São Paulo, Brazil) according to AOAC (2000). The carcasses were stored in a cold chamber (4 °C) for 24 h. After 24 h, the final pH (pH 24 h) was measured using the same procedures described for pH 0. The calculated mean was considered the muscle pH. Meat pH was measured at 20 °C at the time of calibration and after the addition of solutions with a digital skewer type probe (Digimed, 300 M, São Paulo, Brazil). The pH meter was calibrated using buffer solutions of pH 4 and 7 according to the manufacturer's instructions.

The carcasses were then divided, and the *longissimus lumborum* muscle was removed and used to evaluate quality based on physicochemical composition and FA profile. Samples from the *longissimus lumborum* muscle on each carcass side were prepared into steaks. Steaks were stored at -20 °C until subsequent analysis.

### 2.5. Physicochemical composition of *longissimus lumborum*

The evaluation of meat color was performed after oxygenation of myoglobin at the point of *longissimus lumborum* muscle collection after exposure to atmospheric air for 30 minutes. After this period, the color analysis was conducted using a Minolta CR-400 (Konica Minolta, Tokyo, Japan) colorimeter (8 mm aperture; 10° observer) was used. The colorimeter light source was a pulsed xenon lamp. The aperture port was with glass cover and the samples were measured using illuminant D65. Using the luminosity ( $L^*$ ), red index ( $a^*$ ) and yellow index ( $b^*$ ) coordinates at three different points, an average was calculated for each coordinate per animal (Miltenburg, Wensing, Smulders, & Breukink, 1992). The intensity of color saturation (Chroma,  $C^*$ ) was calculated using Equation  $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5}$  according to Boccard et al. (1981).

The water holding capacity (WHC) of the *longissimus lumborum* muscle was determined in triplicate by the pressure method, in which the meat sample (5.0 g), which was placed between circular filter papers (Albert 238, 12.5 cm in diameter), was subjected to a force equivalent to 10 kg for 5 min. The amount of water loss was calculated as the difference between the weight before and after the procedure and was expressed as a percentage of water retention (Hamm, 1986).

Cooking weight loss (CWL) was determined following the procedures of the American Meat Science Association (AMSA, 2016). Previously weighed 2.5 cm thick samples of *longissimus lumborum* muscle free from subcutaneous fat and connective tissues were grilled (George Foreman Jumbo Grill GBZ6BW, Rio de Janeiro, Brazil) until the geometric center temperature reached 71 °C. The monitoring of the internal temperature was performed with a stainless-steel thermocouple (Gulterm 700, Gulton do Brasil). Then, the samples were removed from the grill, placed in plastic containers, subjected to an ice water bath until the samples reached room temperature, and weighed again. The CWL values were calculated as the difference between the initial weight and weight after the cooking process and were expressed as (g/100 g exudate).

After cooling, some of these samples were directed to Warner–Bratzler shear force (WBSF) evaluations. Three cylinders (1.27 cm in diameter) were cut longitudinally to the muscle fibers. Instrumental texture analysis was performed in a texturometer (Texture Analyzer TX-TX2; Mecmesin, Nevada, United States) equipped with a Warner–Bratzler shear blade with a load of 25 kgf and a cutting speed of 20 cm/min. The shear force values obtained were expressed in Newtons ( $N$ ) according to the standard procedure recommended by the Meat Animal Research Center (Shackelford et al. 1999).

## 2.6. Centesimal meat composition

The moisture, protein, lipid, ash and collagen contents of the longissimus lumborum muscle were determined by near infrared spectroscopy (NIRS) using the FoodScan™ device (FOSS Analytical A/S, Hillerod, Denmark), following the recommendations of the AOAC (2012).

## 2.7. Fatty acid determination

The fatty acid profile of the experimental diets was determined according to Palmquist and Jenkins (2003). A total of 0.5 g of dry sample was weighed in duplicate into Pyrex-type test tubes with a Teflon cap. In each tube, 2 mL of hexane and 3 mL of 10% methanolic acetyl chloride were added. The tubes were capped, vortexed (Fisatom 772, São Paulo, Brazil), heated in a water bath at 90 °C for 2 h, and then cooled. A total of 1 mL of hexane and 10 mL of 6% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> were added. Samples were again homogenized by vortexing. The tubes were centrifuged (Centribio 80–2B, Equipar Ltda., Paraná, Brazil) for 5 min, and the solvent layer was collected and transferred to another test tube containing 1.0 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and activated charcoal. The tubes were centrifuged, and the supernatant was transferred to small vials for gas chromatography (GC).

The separation of fatty acid methyl esters (FAMES) was performed in a GC (Perkin Elmer Clarus 680) equipped with a flame ionization detector (GC-DIC) and an ELITE-WAX fused silica capillary column (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm). The analysis parameters were as follows: injector temperature 250 °C; detector temperature 280 °C; column temperature programmed at 150 °C for 16 minutes and increasing 2 °C per minute to 180 °C; remaining at this temperature for 25 minutes and increasing 5 °C to 210 °C; and remaining at this temperature for 25 minutes. Helium gas was used as a carrier gas with a flow of 1 mL/minute. The hydrogen gas flow rate was 30 mL/minute, and the synthetic air flow rate was 300 mL/minute. Injections were performed in duplicate for each extraction, and the injection volume was 1 μL. The identification of FA was performed by comparing the retention times of the sample peaks with the retention time of the mixed standard FA (189–19, Sigma, USA). The results were quantified by area normalization and expressed in g/100 g of FAME.

The fatty acid profile of the *longissimus lumborum* muscle was obtained following the methodology of O'Fallon et al. (2007), with adaptations. In 16 × 125 mm screw-capped Pyrex tubes, 0.5 g of the lyophilized sample was weighed: 0.7 mL of 10 N KOH, 5.3 mL



of MeOH and 1.0 mL of internal standard solution (1.0 mg of C19:0/mL of MeOH). The tubes were incubated in a water bath at 55 °C for 90 min and shaken manually every 20 min for 5 seconds. Then, they were cooled in running water, and 0.58 mL of 24 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was added, repeating the procedure in a water bath described above. After cooling, 3.0 mL of hexane was added to each tube.

The test tubes were vortexed (Fisatom 772, São Paulo, Brazil) for 1.5 min and centrifuged (Centribio 80–2B, Equipar Ltda., Paraná, Brazil). Supernatants were collected and stored in a GC bottle. Then, the FAMES were separated using a gas chromatograph (Focus GC 180 Thermo Electron SPA, Milan, Italy) equipped with a SUPELCO Analytical SPTM – 2560, 100 m × 0.25 mm × 0.20 µm capillary column (Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA) with a flame ionization detector. The injector temperature was programmed at 250 °C and the detector at 280 °C; one microliter of each sample, with a split ratio of 30:1, was injected at an initial column temperature of 140 °C, increased to 220 °C at 1 °C/min, and held for 25 min. The carrier gas used was hydrogen with a flow of 1.5 mL/min. The FAMES were identified by comparing the samples to the GLC-674 standard mixture (Nu-Chek Prep, Inc. Elysian, USA) containing 52 FA. Quantification was based on the equation proposed by Sukhija and Palmquist (1988): [(total area of peaks – area of internal standard)/area of internal standard] × (concentration of internal standard/weight of lyophilized sample)]. The results were expressed in milligrams of FA per 100 g of meat (mg/100 g).

From the FA profile, the sum ( $\Sigma$ ) of saturated fatty acids ( $\Sigma$ SFA), monounsaturated fatty acids ( $\Sigma$ MUFA) and polyunsaturated fatty acids ( $\Sigma$ PUFA), as well as the  $\Sigma$ MUFA: $\Sigma$ SFA;  $\Sigma$ PUFA: $\Sigma$ SFA,  $\Sigma$ PUFA: $\Sigma$ MUFA and  $\Sigma n-6$ : $\Sigma n-3$  ratios, were calculated. To assess the nutritional quality of the lipid fraction of the *longissimus lumborum* muscle, the atherogenicity (AI) and thrombogenicity (TI) indices were determined according to Ulbricht and Southgate (1991). The relationship between hypocholesterolemic and hypercholesterolemic (h:H) FA was calculated according to Santos-Silva et al. (2002), and desirable fatty acids (DFAs) were calculated according to the methods of Rhee (1992). The activities of the enzymes stearoyl-CoA desaturase ( $\Delta 9$ -desaturase) for palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) and elongase were estimated following the equations of Smet et al. (2004).

## 2.6. Sensory attributes

The sensory attributes of the *longissimus lumborum* muscle were evaluated from a panel of 80 untrained tasters, including 40 women and 40 men (aged between 20 and 44 years). Raw meat samples from each experimental level were grouped and cooked in an electric grill (George Foreman Jumbo Grill GBZ6BW, Rio de Janeiro, Brazil) until the geometric center reached 71 °C. After cooking, the fragments were cut into 2 cm<sup>2</sup> cubes, transferred to a water bath (Marconi – Piracicaba - 211 SP, Brazil) at 75 °C and covered with aluminum foil to keep them warm and ensure minimal loss of volatile components; these were kept in a water bath inside a glass beaker (Marconi®, São Paulo, Brazil) at 75 °C so that the temperature of the samples remained between 65 and 70 °C until distribution to the tasters. No salt or spices were added. To remove the flavor of the meat between tests, water and *cream crackers* were provided as an accompaniment.

Sensory attribute evaluations were performed in 10 individual cabins on a single day between 09:00 and 11:00 h, with 10 participants per session (n = 8). Sessions were made up of eight tasting rounds in booths at pre-established times. Each taster received ten samples of meat (5 treatments in duplicate), randomly distributed and coded with three numerical digits. The duration time of each session was approximately 15 min. Panelists received evaluation sheets for the attributes of the characteristic flavor, tenderness, juiciness, "goaty" aroma and flavor intensity (Madruga et al., 2010) and overall acceptance characteristics. Sensory attributes were determined using a structured intensity scale of nine points, ranging from 1 to 9, with 1 being "I truly disliked" and 9 "I truly liked".

## 2.7. Statistical analysis

Data were analyzed using the Statistical Analysis System PROC MIXED procedure (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA; version 9.4.), for a completely random design with five treatments (0, 25, 50, 75, and 100% mushroom residue replacing Tifton-85 hay), each with eight experimental units (lambs). The animals were used as experimental units, and the treatments were used as the fixed effect. The following model was used:  $Y_{ij} = \mu + s_i + e_{ij}$ , where  $Y_{ij}$  = the observed value;  $\mu$  = the overall mean;  $s_i$  = the effect of the mushroom residue level; and  $e_{ij}$  = the effect of the experimental error. Polynomial contrasts evaluated the linear and quadratic effects on mushroom residue inclusion. For analysis of initial and final pH data, temperatures measured at the time of evaluation were used as a covariate.

For the evaluation of meat quality effects on consumer responses, separate linear mixed models were fitted for each sensory trait (tenderness, juiciness, flavour, goaty flavour, goaty aroma and overall rating) from MIXED SAS® procedures. The fixed effects

in the model included diet and the random effects in the model included panelist (Biffin et al., 2019). All variables were considered as normally distributed based on the graphical evaluation (Q-Q plot and histogram) of the residuals. The Levene test was applied to verify the homogeneity of the variance, with the use of the command HOVTEST (SAS®, Inst., Inc., Cary, NC).

For all data, statistical significance was established at  $P \leq 0.05$  and trend when  $0.05 \leq P \leq 0.10$ . Homogeneity of variances was tested for  $P = 0.05$ , and when significant, heterogeneity was fitted in the model using the PROC MIXED REPEATED command.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Performance and meat quality

The slaughter weight of lambs at ( $P = 0.216$ ) and ADG ( $P = 0.217$ ) were not affected by the replacement of hay by the residue from mushroom cultivation, although DM intake (DMI) showed a quadratic increase ( $P = 0.043$ ), with the maximum consumption point at level 70, 5% replacement (DMI = 1529.4 g/d); ( $-0.049x^2 + 6.9181x + 1285.45$ ). The inclusion of residue from the mushroom cultivation in the lamb diet replacing Tifton-85 hay did not change ( $P > 0.05$ ) the initial pH, final pH, color parameters luminosity ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) and saturation index ( $C^*$ ), the WHC and WBSF, or the centesimal composition of moisture, protein, lipid, crud ash and collagen content of the *longissimus lumborum* muscle (Table 3). The CWL showed a quadratic reduction ( $P = 0.003$ ) with minimum de 28.1 mg/100 g of meat at a mushroom inclusion level of 63,4%, ( $0,0013x^2 - 0,1651x + 33,379$ ) due to the inclusion of mushroom cultivation residue in the lamb.

Table 3 - Physicochemical composition in the longissimus lumborum muscle of lambs fed mushroom residue replacing Tifton-85 hay

Item	Mushroom residue replacing Tifton-85 hay (%)					SEM <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadratic
Initial BW (kg)	27.6	28.6	27.8	28.0	27.3	—	—	—
Slaughter BW (kg)	43.7	43.9	45.1	46.6	44.2	0.46	0.216	0.166
Average daily gain (g/d)	227	229	246	269	233	12.9	0.217	0.167
Dry matter intake (g/d)	1299	1402	1499	1566	1469	54.7	0.006	0.043

pH initial (0 h)	6.55	6.60	6.62	6.64	6.59	0.05	0.412	0.259
pH final (24 h)	5.87	5.86	5.87	5.89	5.92	0.05	0.380	0.683
Chemical composition (g/100 g meat)								
Moisture	71.9	71.9	71.2	71.5	72.3	0.30	0.688	0.058
Crude protein	22.5	22.4	22.2	22.4	22.1	0.32	0.371	0.935
Lipid	2.59	2.45	2.41	2.71	2.33	0.30	0.770	0.886
Crude ash	3.01	3.26	3.40	3.40	3.30	0.16	0.146	0.173
Collagen	1.17	1.18	1.54	1.39	1.41	0.11	0.051	0.223
Color indexes								
Luminosity (L*)	40.2	38.8	40.1	38.7	40.0	0.90	0.870	0.440
Redness (a*)	20.4	20.4	20.3	19.5	20.3	0.39	0.384	0.535
Yellowness (b*)	4.84	4.28	4.22	3.80	4.33	0.33	0.205	0.504
Chrome (C*)	20.9	20.9	20.9	19.9	20.8	0.45	0.175	0.320
WHC <sup>3</sup> (g/100 g meat)	75.9	74.5	74.1	74.7	74.7	0.91	0.460	0.283
CWL <sup>4</sup> (g/100 g meat)	32.7	31.5	27.2	28.0	30.8	1.09	0.039	0.003
WBSF <sup>5</sup> (N)	40.2	28.4	25.2	35.3	31.6	0.52	0.466	0.129

<sup>1</sup>Standard error of the mean

<sup>2</sup>Significant at  $P \leq 0.05$  and trend at  $P < 0.10$ .

<sup>3</sup>Water holding capacity

<sup>4</sup>Cooking weight loss

<sup>5</sup>Warner–Bratzler shear force (*Newton force*)

### 3.2. Fatty acids profile

The FA composition (mg/100 g) of the *longissimus lumborum* muscle of lambs fed mushroom residue replacing Tifton-85 hay did not change ( $P > 0.05$ ) the SFAs C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0 and C20:0; MUFAs *t*9–C14:1, *c*9–C14:1, *t*9–C16:1, *c*9–C16:1, *t*10–C17:1, *c*10–C17:1, *t*9–C18:1, *c*9–C18:1 and *c*11–C18:1; and PUFAs C18:2 *t*10 *t*12, C18:3 $n$ –3, C20:3 $n$ –6, C20:5 $n$ –3, C22:5 $n$ –3 and C22:6 $n$ –3 (Table 4). There was a quadratic decrease ( $0.0061x^2 - 0.5238x + 103.01$ ) in C18:2 $n$ –6 ( $P = 0.007$ ), with a minimum concentration of 91.7 mg/100 g meat at an inclusion level of 42.8% residue from mushroom cultivation, and C20:4 $n$ –6 ( $P < 0.001$ ; equation of regression  $0.0028x^2 - 0.2826x + 48.435$ ) (minimum concentration of 41.37 mg/100 g meat at an inclusion level of 50% mushroom residue). C22:4 $n$ –6 also showed a quadratic effect ( $P = 0.004$ ; Equation of regression  $0.00019x^2 - 0.0199x + 3.607$ ), with a 3.02 mg/100 g concentration in the meat when the level of inclusion was 51.7%. However, there was a linear increase in *t*-11–C18:1 ( $P < 0.001$ ) and CLA ( $P = 0.006$ ).

Table 4 - Fatty acid composition of (mg/100 g fresh meat) from the longissimus lumborum muscle of lambs fed with diets containing mushroom residue replacing Tifton-85 hay

Fatty acids (mg/100 g fresh meat)	Mushroom residue replacing Tifton-85 hay (%)					SEM <sup>1</sup>	<i>P</i> -value <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadratic
C10:0	2.97	2.14	2.38	2.25	3.20	0.33	0.130	0.078
C12:0	3.06	2.80	2.95	3.58	3.80	0.55	0.193	0.484
C14:0	57.5	49.1	52.3	62.2	62.8	8.31	0.366	0.430
<i>t</i> 9-C14:1	1.56	1.38	1.34	1.64	1.50	0.23	0.857	0.668
<i>c</i> 9-C14:1	2.24	2.34	1.88	2.28	2.02	0.31	0.623	0.909
C15:0	7.08	6.67	6.25	8.27	6.72	0.88	0.750	0.962
C16:0	590.1	553.3	551.4	642.7	598.8	57.1	0.549	0.712
<i>t</i> 9-C16:1	8.44	7.99	7.17	8.74	8.93	0.74	0.572	0.264
<i>c</i> 9-C16:1	52.3	49.1	48.5	54.6	51.3	5.17	0.831	0.733
C17:0	23.6	23.3	21.2	25.1	26.0	2.77	0.457	0.413
<i>t</i> 10-C17:1	2.91	2.61	2.32	2.61	2.33	0.38	0.397	0.687
<i>c</i> 10-C17:1	5.61	4.74	5.52	5.84	6.14	0.45	0.130	0.263
C18:0	364.8	381.7	349.5	412.9	336.5	26.8	0.762	0.368
<i>t</i> 9-C18:1	11.8	8.93	10.4	12.0	10.5	1.28	0.919	0.541
<i>c</i> 9-C18:1 <i>cis</i> -9	1059.7	1006.8	1001.8	1154.0	973.9	88.1	0.929	0.768
<i>c</i> 11-C18:1 <i>cis</i> -11	31.7	30.4	31.4	37.6	34.7	2.69	0.122	0.834
<i>t</i> 11-C18:1 <i>trans</i> -11	28.1	18.1	24.6	25.9	46.8	3.73	<0.001	<0.001
C18:2 <i>t</i> 10 <i>t</i> 12	2.77	2.60	2.76	3.86	2.94	0.38	0.160	0.654
C18:2 <i>n</i> -6	103.7	93.7	87.1	104.9	108.7	4.69	0.162	0.007
<i>c</i> 9 <i>t</i> 11-18:2 (CLA) <sup>3</sup>	5.87	5.82	5.46	6.67	9.76	0.93	0.006	0.031
C18:3 <i>n</i> -3	6.10	5.10	5.01	5.80	5.52	0.67	0.824	0.356
C20:0	1.63	1.80	1.65	1.99	1.54	0.15	0.980	0.177
C20:3 <i>n</i> -6	4.19	3.69	3.71	4.30	4.23	0.20	0.266	0.059
C20:4 <i>n</i> -6	48.8	42.3	40.2	45.1	47.3	1.64	0.948	<0.001
C20:5 <i>n</i> -3	6.84	5.51	6.04	6.28	5.13	0.68	0.212	0.984
C22:4 <i>n</i> -6	3.62	3.21	3.01	3.32	3.47	0.14	0.683	0.004

C22:5 $n-3$	12.61	10.20	10.89	11.35	10.71	0.86	0.327	0.310
C22:6 $n-3$	2.61	2.01	2.46	2.51	2.39	0.34	0.961	0.654
Unidentified	135.9	129.7	132.5	151.6	142.3	6.53	0.397	0.383

<sup>1</sup>Standard error of the mean;

<sup>2</sup>Significant at  $P \leq 0.05$  and trend at  $P < 0.10$ ;

<sup>3</sup>coeluted peak with C18:2 trans-7 cis-9 and C18:2 cis-9 trans-11.

The experimental diets did not change ( $P > 0.05$ )  $\Sigma$ SFA,  $\Sigma$ MUFA and  $\Sigma n-3$  or the proportions  $\Sigma$ MUFA: $\Sigma$ SFA and  $\Sigma n-6$ : $\Sigma n-3$ , and there was no difference between the tested diets (Table 5). However, the replacement of Tifton-85 hay by the mushroom residue quadratically decreased  $\Sigma$ PUFA ( $P = 0.001$ ; equation of regression  $0.0128x^2 - 1.1088x + 195.73$ ) and  $\Sigma n-6$  ( $P = < 0.001$ ; equation of regression  $0.0109x^2 - 0.888x + 167.86$ ), with minimum concentrations of 171.73 and 148.49 mg/100 g meat, at inclusion levels of 43.27 and 43.62%, respectively. The ratios  $\Sigma$ PUFA:  $\Sigma$ SFA ( $P = 0.021$ ;  $0.00001x^2 - 0.0012x + 0.1963$ ) and  $\Sigma$ PUFA:  $\Sigma$ MUFA ( $P = 0.009$ ;  $0.00001x^2 - 0.0012x + 0.1747$ ) had com minimum values of 0.17 at an inclusion level of 46.5% and 0.15 at an inclusion level of 46.1% mushroom residue replacing Tifton-85 hay, respectively.

The AI, TI, DFA and h:H health indices regarding fat, as well as the  $\Delta 9$ -desaturase C16 and C18 activity indices, were not affected ( $P > 0.05$ ) by mushroom residue inclusion (Table 5). However, the inclusion of residue from mushroom cultivation in the lamb diet replacing Tifton-85 quadratically increased the elongase enzyme activity ( $P = 0.039$ ), with a maximum value of 36.3% elongase activity at a level of 69.8% replacement ( $-0.00062x^2 + 0.0450x + 69.01$ ).

Table 5 - Fatty acid group, sum ( $\Sigma$ ), ratios and health indexes (mg/100 g fresh meat) from the longissimus lumborum muscle of lambs fed mushroom residue replacing Tifton-85 hay diets

Fatty acids (mg/100 g fresh meat)	Mushroom residue replacing Tifton-85 hay (%)					SEM <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>	
	0	25	50	75	100		Linear	Quadratic
	Sum ( $\Sigma$ )							
Total FA	2592.6	2456.4	2419.8	2808.5	2487.1	192.2	0.814	0.939
SFA	1050.8	1021.4	987.5	1163.9	1040.6	92.13	0.670	0.948
MUFA	1201.4	1142.0	1133.2	1313.1	1154.2	98.51	0.827	0.978
PUFA	197.1	174.2	166.6	194.1	209.2	8.14	0.091	0.001

<i>n</i> -6 PUFA	168.9	151.3	142.2	168.2	176.4	6.12	0.112	<0.001
<i>n</i> -3 PUFA	28.2	22.8	24.4	25.9	23.3	2.23	0.350	0.513
Ratio								
ΣMUFA/ΣSFA	1.14	1.12	1.16	1.13	1.11	0.03	0.677	0.569
ΣPUFA/ΣSFA	0.19	0.18	0.17	0.17	0.21	0.01	0.693	0.021
ΣPUFA/ΣMUFA	0.17	0.15	0.15	0.15	0.18	0.01	0.621	0.009
<i>n</i> -6: <i>n</i> -3	6.16	6.86	5.92	6.72	6.63	0.43	0.593	0.928
Indexes								
Atherogenicity	0.59	0.56	0.55	0.59	0.63	0.02	0.127	0.072
Thrombogenicity	1.32	1.37	1.33	1.37	1.32	0.03	0.922	0.367
Desirable fatty acids	1724	1698	1649	1920	1700	132.3	0.817	0.984
h/H index	1.92	1.96	1.93	1.89	1.80	0.06	0.138	0.270
Enzymatic activity								
Δ9-desaturase C16	8.12	8.22	8.11	7.84	7.88	0.21	0.192	0.713
Δ9-desaturase C18	73.9	72.4	74.2	73.6	74.2	1.01	0.607	0.655
Elongase	69.0	69.9	69.3	69.3	67.2	0.67	0.054	0.039

Abbreviations: ΣSFA, Sum of saturated fatty acids; BI, ΣMUFA, Sum of monounsaturated fatty acids; ΣPUFA, Sum of polyunsaturated fatty acids; Σ*n*-3, Sum of omega-3 fatty acids; Σ*n*-6, Sum of omega-6 fatty acids; h/H, Hypocholesterolemic and hypercholesterolemic fatty acids ratio;

<sup>1</sup>Standard error of the mean

<sup>2</sup>Significant at  $P \leq 0.05$  and trend at  $P < 0.10$ .

### 3.3 Sensory attributes

The replacement of Tifton-85 hay by mushroom residue quadratically increased the lamb meat scores for sensory perception of tenderness ( $P < 0.001$ ), (value maximum: 7.31; at level of 61,7% replacement), juiciness ( $P < 0.001$ ), (value maximum: 6.95; at level of 64,2% replacement) and overall acceptance ( $P = 0.002$ ), (value maximum: 6.66; at level of 62.1% replacement), and mushroom residue inclusion did not affect lamb meat flavor "goaty" intensity (Equation regression, tenderness:  $-0.00027x^2 + 0.0033x + 6.287$ ; juiciness:  $-0.00021x^2 + 0,02699x + 6.092$ ; overall acceptance:  $-0.00017x^2 + 0.0211x + 6.003$ ). However, the aroma "goaty" intensity ( $P = 0.038$ ) of meat decreased quadratically due to mushroom residue inclusion, com value minimum de 4.46 at a level of 61.1% replacement.

Table 6 - Consumer appeal of the meat of lambs fed diets containing mushroom residue replacing Tifton-85 hay

Attributes <sup>1</sup>	Mushroom residue replacing Tifton-85 hay					SEM <sup>2</sup>	P value <sup>3</sup>	
	(%)						Linear	Quadratic
	0	25	50	75	100			
Flavour	6.38	6.57	6.65	6.49	6.41	0.186	0.957	0.131
Tenderness	6.13	7.17	7.13	7.20	6.95	0.173	<0.001	<0.001
Juiciness	6.04	6.76	6.82	6.93	6.71	0.172	<0.001	<0.001
Goaty flavour	5.58	5.69	5.64	5.46	5.78	0.206	0.710	0.601
Goaty aroma	5.01	4.59	4.53	4.49	4.67	0.233	0.123	0.038
Overall acceptance	5.96	6.52	6.58	6.58	6.39	0.178	0.033	0.002

<sup>1</sup>Hedonic scale sensory evaluation (1 = dislike extremely and 9 = like extremely)

<sup>2</sup>Standard error mean

<sup>3</sup>Significant at  $P \leq 0.05$  and trend at  $P < 0.10$ .

#### 4. DISCUSSION

The increase in DMI up to 70.5% of residue from mushroom cultivation replacing Tifton-85 hay occurred due to the reduction in the roughage particle size of the diet (Konhoff et al., 2003), with a consequent increase in the passage rate in the rumen. In contrast, the reduction in DMI at levels above 70.5% is probably due to chemical regulation of intake, since the highest percentage of NFC was observed at 100% replacement. Tifton-85 hay was crushed in a 3.0 cm sieve. The particle size distribution was measured using the Penn State Particle Separator (Konhoff et al., 2003), and physical effectiveness values (retention in 3 sieves) of 72, 67, 64, 57 and 54% were obtained for 0, 25, 50, 75 and 100% replacement of Tifton hay by mushroom cultivation residue, respectively.

The absence of pH variations in the *longissimus lumborum* muscle was due to the same preslaughter fasting period, to which all animals were subjected, a procedure that reduces and balances muscle glycogen concentrations. Although a gradual increase in NFC concentrations in the diets was observed (Table 2) with the inclusion of mushroom residue, there were no changes in muscle pH. Thus, as observed at the time of slaughter, when blood flow and oxygen supply are interrupted, glycogen catabolism occurs with lactate formation, which contributes to a gradual decline in pH (Chauhan and England, 2018; Allen et al., 2009).



In our study, the average final pH was approximately 5.88. Despite this value being higher than recommended, the meat cut did not show characteristics of low-quality meat, being dark, firm and dry (DFD) when the pH values were high (final pH > 6.0) (Gonzalez-Rivas et al., 2020). pH is an important indicator of meat quality, and any changes in the extent or rate of pH reduction can have substantial impacts on physicochemical and sensory characteristics (England et al., 2017). For most species, the final pH considered adequate is between 5.5 and 5.7 (Chauhan and England, 2018; Matarneh et al., 2017).

The L\*, a\*, b\* and C\* color indices of the meat were not influenced by the inclusion of the mushroom residue, as the pH values of the meat were similar in that postmortem pH changes promote changes in meat color (Hughes et al., 2014). Mean values of L\* (39.56) found in this study indicate light color and acceptability to consumers (Khliji et al., 2010). These visual aspects are considered primary attributes when choosing and purchasing meat by the consumer (Muela et al., 2010).

The WBSF values were also not influenced by the mushroom residue inclusion levels, although the average values (32.2 *N*) are between the range observed by Boleman et al. (1997) whom classify the lamb meat texture as very soft (22.6 to 35.3 *N*). Shackelford et al. (1991) suggested the value of 45.1 *N* of SF, by the Warner-Bratzler method, as standards acceptable limit for the marketing of beef.

The different levels of mushroom residue also did not affect WHC; however, cooking losses increased as the hay was replaced by the mushroom residue. The main factors influencing cooking losses are meat pH, fat content (Aaslyng et al., 2003), and temperature (Tornberg, 2005), although there was no variation in these items in this study, and the temperature was the same for all samples. Thus, it is assumed that collagen has a role in muscle shrinkage induced by temperature; however, research still presents controversial results (Vaskoska et al., 2020; Purslow, 2018; Bouhrara et al., 2012). Although there is a correlation between WHC and CWL (55–58%) at cooking temperatures from 60 to 70 °C (Hughes et al., 2014), such behavior was not verified in this study.

Additionally, when analyzing the proximate composition of meat, there was no difference between the levels tested for moisture, protein, fat, ash and collagen. This shows that muscle protein and ash concentrations are rarely altered. Intramuscular fat content is of fundamental importance for meat quality and consumer acceptance. The average fat content of 3.25% in the present study was within the desirable standard for quality lamb meat (Lima et al., 2018; Gama et al., 2020).

By observing the FA composition of the fat of the sheep meat in this study, it is possible to infer that biohydrogenation occurred with the increase in the percentage of mushroom cultivation residue in the lambs' diet, since higher amounts of vacenic acid (*t*-11–C18:1), linoleic acid (C18:2*n*-6) and CLA were observed at the 100% substitution level. Such behavior is justified by the ability of mushrooms to secrete ligninolytic enzymes, mainly lactase (Janusz et al., 2015), which help to degrade lignocellulosic substrates and generate phenolic compounds, including condensed tannins (Rangubhet et al., 2017). In contrast, despite the reduction in biohydrogenation, the replacement of hay with residue from mushroom cultivation was not efficient in increasing the flow of linolenic acid, probably due to the low percentage of this fatty acid in the diet and the limited concentration of phenolic compounds from the residue. In addition to the composition of the diet, other factors can also interfere with biohydrogenation in the rumen, such as ruminal pH and ruminal digesta passage rate (Vasta et al., 2019). The reduction in biohydrogenation and the increase in the duodenal flow of UFAs may also result from the increase in the passage rate (Harvatine and Allen, 2005), since small particles, which gradually increased in the diets in this study, stimulate the rapid passage of the digesta through the rumen (Martz and Belyea, 1986).

Considering the impact of mushroom cultivation residue on ruminal biohydrogenation, it would be important to reduce the amount of stearic acid (C18:0); however, levels remained unchanged. The manipulation of the FA profile of meat through the diet is limited, and changes can also occur through transcription factors of gene expression in lipid metabolism (Ladeira et al., 2018). Maintaining C18:0 levels can promote positive effects on human health, as it prevents cardiovascular disease and has no harmful effect when compared to other SFAs (Hunter et al., 2010).

The absence of changes in the amounts of MUFAs observed in this study, especially *c*-9–C18:1, is beneficial to human health, as these FAs are effective in the treatment and prevention of cardiovascular diseases (Hohmann et al., 2015) through reduced LDL levels and increased HDL in the blood (Ghobadi et al., 2019). Changes in PUFA amounts mainly reflect the behavior of C18:2*n*-6, C20:4*n*-6, and C22:4*n*-6 FA, considered proinflammatory substances (Ponnampalam et al., 2020) and important sources of *n*-6 in human food. The concentration of C20:4*n*-6 FA presented, statistically, the same behavior as elongase. This fatty acid is synthesized in the smooth endoplasmic reticulum from precursors C18:2*n*-6 and C18:3*n*-3 through elongation processes involving the elongase enzyme and desaturation of the carbon chain through desaturase enzymes (Wood et al.,

2008). Although changes in  $n-3$  PUFA amounts did not occur, both  $n-3$  and  $n-6$  can improve the immune response, prevent apoptosis, attenuate atherosclerosis and have anti-inflammatory properties in addition to inducing growth inhibition and differentiation of cancer cells (Zárate et al., 2017; Wang et al., 2012). The  $n-6:n-3$  ratio (6:1) observed in this study is above the ratio reviewed and described by Zárate et al. (2017), when a 2–4:1 ratio is associated with a reduced risk of breast, prostate, colon, and kidney cancer.

There were no changes in the concentrations of the health indices AI, IT, h:H or DFA. In our study, the AI ranged from 0.58 to 0.62, while the IT ranged from 1.35 to 1.42; both values were below the averages (1.00 and 1.58, respectively) reported by Ulbricht and Southgate (1991). These nutritional indices represent criteria for evaluating the levels and interrelationship of some FAs that affect the risk of potential aggregation of blood platelets (Della Malva et al., 2016). In this context, the results demonstrate the quality of the FA profile of the meat from the evaluated lambs.

The meat sensorial attributes tenderness and juiciness were preferred by the evaluators more frequently at the levels of 61.7 and 64.2% replacement of hay by mushroom residue, respectively. Such values coincide with the lowest percentage of CWL found at the 63.4% replacement level (Table 3). Lower cooking loss values are important, as they are negatively associated with succulence ( $R = -0.72$ ; Drey et al., 2019); however, the association of moisture and fat ( $R = 0.85$ ) has greater predictive value for meat juiciness (Drey et al., 2019). Tenderness is one of the characteristics that determines meat quality, and it may be associated with the intramuscular fat present in the carcass (Jurie et al., 2007), a relationship that was not observed in this study. Excess water lost during cooking contributes to the concentration of muscle fiber proteins; the more concentrated these proteins are, the tougher the meat (Miller, 2004), so tenderness also has a negative correlation with cooking loss. Tenderness is always the first quality sought by consumers (Ouali et al., 2013); however, recent studies show that flavor (49.4%) is considered the most important palatability characteristic for meat consumption, followed by tenderness (43.4%) and juiciness (7.4%) (O'Quinn et al., 2018).

Linoleic acid helps to reduce the "goaty" aroma intensity (Zhang et al., 2020); however, in this study, the opposite was observed, as levels with higher amounts of linoleic acid also have higher "goaty" aroma intensity. Thus, the tenderness and juiciness of the meat were determinants for better acceptance by the tasters, as the overall acceptance of the meat occurred when the diet contained 62.1% of residue from mushroom cultivation.

## 5. CONCLUSION

It is recommended to include mushroom residues substituted for Tifton-85 hay in the diet of lambs by up to 100% because, in addition to providing a greater amount of polyunsaturated fatty acids, especially CLA, which has numerous benefits to human health, it does not compromise the physicochemical attributes of meat. Regarding sensory attributes, consumers preferred the meat of lambs fed 62.1% residue in the diet.

### Conflict of interest statement

There are no conflicts of interest issues concerning this submission.

### Acknowledgments

The research was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (Brazil), the Coordination for the Improvement of Greater Education Personnel (CAPES), and the Federal University of Bahia by installations support.

## 6. REFERENCES

- Aaslyng, M.D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H.C., Andersen, H.J., 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Qual. Prefer.* 14, 277-288. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00086-1)
- Allen, M.S., Bradford, B.J., Oba, M., 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87, 3317-3334. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1779>
- American Meat Science Association (AMSA), 2016. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat. In: *American Meat Science Association Educational Foundation*. <http://www.meatscience.org>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2012. *Official Methods of Analysis*, 19th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2002. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington, DC, USA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000. *Official Methods of*

- Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Gaithersburg, VA, USA.
- Baharin, N.S.K., Koesoemadinata, V.C., Nakamura, S., Azman, N.F., Yuzir, M.A.M., Akhir, F.N.M., Iwamoto, K., Yahya, W.J., Othman, N., Ida, T., Hara, H., 2020. Production of Bio-Coke from spent mushroom substrate for a sustainable solid fuel. *Biomass Convers. Biorefinery*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00844-5>
- Biffin, T.E., Smith, M.A., Bush, R.D., Collins, D., Hopkins, D.L., 2019. The effect of electrical stimulation and tenderstretching on colour and oxidation traits of alpaca (*Vicungu pacos*) meat. *Meat Sci.* 156, 125–130. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.05.026.
- Boccard, R., Buchter, L., Casteels, E., Cosentino, E., Dransfield, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., MacDougall, D.B., Rhodes, D.N., Schön, I., Tinbergen, B.J., Touraille, C., 1981. Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. Report of a working group in the commission of the European communities' (CEC) beef production research programme. *Livest. Prod. Sci.*, 8, 385–397. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(81\)90061-0](https://doi.org/10.1016/0301-6226(81)90061-0)
- Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R.K., Taylor, J.F., Cross, H.R., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Shackelford, S.D., Miller, M.F., West, R.L., Johnson, D.D. Savell, J.W., 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J. Anim. Sci.* 75, 1521-1524. <https://doi.org/10.2527/1997.7561521x>.
- Bouhrara, M., Clerjon, S., Damez, J.L., Kondjoyan, A., Bonny, J.M., 2012. In situ imaging highlights local structural changes during heating: The case of meat. *J. Agric. Food Chem.* 60, 4678-4687. <https://doi.org/10.1021/jf2046569>
- Chauhan, S.S., England, E.M., 2018. Postmortem glycolysis and glycogenolysis: insights from species comparisons. *Meat Sci.* 144, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.021>
- Della Malva, A., Albenzio, M., Annicchiarico, G., Caroprese, M., Muscio, A., Santillo, A., Marino, R., 2016. Relationship between slaughtering age, nutritional and organoleptic properties of Altamura lamb meat. *Small Rumin. Res.* 135, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.020>
- Drey, L.N., Prill, L.L., Olson, B.A., Rice, E.A., Gonzalez, J.M., Vipham, J.L., Houser, T.A., Boyle, E.A.E., O'Quinn, T.G., 2019. Evaluation of marbling and enhancement's abilities to compensate for reduced beef palatability at elevated degrees of doneness. *J. Anim. Sci.* 97, 669-686. <https://doi.org/10.1093/jas/sky435>

- England, E.M., Matarneh, S.K., Scheffler, T.L., Gerrard, D.E., 2017. Perimortal muscle metabolism and its effects on meat quality. In: *New aspects of meat quality* (pp. 63-89). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4.00004-7>
- Faostat, F. Faostat Statistical Database, 2018. Publisher: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Rome, Italy.
- Gama, K.V.M.F., Pereira Filho, J.M., Soares, R.F., Cordão, M.A., Cézar, M.F., Batista, A.S.M., Silva, A.M.A., Madruga, M.S., Oliveira, R.L., Bezerra, L.R., 2020. Fatty acid, chemical, and tissue composition of meat comparing Santa Ines breed sheep and Boer crossbreed goats submitted to different supplementation strategies. *Trop. Anim. Health Prod.* 52, 601-610. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02047-1>
- Ghobadi, S., Hassanzadeh-Rostami, Z., Mohammadian, F., Nikfetrat, A., Ghasemifard, N., Raeisi Dehkordi, H., Faghih, S., 2019. Comparison of blood lipid-lowering effects of olive oil and other plant oils: a systematic review and meta-analysis of 27 randomized placebo-controlled clinical trials. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59, 2110-2124. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1438349>
- Gonzalez-Rivas, P.A., Chauhan, S.S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F.R., Warner, R.D., 2020. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci.* 162, 108025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- Hamm, R., 1986. Functional properties of the miofibrillar system and their measurement. In P. J. Bechtel, *Muscle as food*. 1 Ed (pp. 135–199). Orlando, FL: Academic Press. Handbook 8-13. Human Nutritional Info. Serv., USDA, Washington D.C.
- Harvatine, K.J., Allen, M.S., 2005. The effect of production level on feed intake, milk yield, and endocrine responses to two fatty acid supplements in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 88, 4018-4027. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73088-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73088-5)
- Hohmann, C.D., Cramer, H., Michalsen, A., Kessler, C., Steckhan, N., Choi, K., Dobos, G., 2015. Effects of high phenolic olive oil on cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Phytomedicine*, 22, 631-640. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.03.019>
- Huang, L.Q., Li, S.Q., Yuan, Z.Z., Tang, J., Yan, J.C., Tang, Q.Y., 2021. Effects of feeding co-fermented whole plant rice and spent mushroom (*Pleurotus ostreatus*) substrate on slaughter performance, meat quality and organ size indexes of Liuyang black goats. *Acta Prataculturae Sin.* 30, 133. <http://cyxb.magtech.com.cn/EN/10.11686/cyxb2020507>

- Hughes, J.M., Oiseth, S.K., Purslow, P.P., Warner, R.D., 2014. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Sci.* 98, 520-532. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.022>
- Hunter, J.E., Zhang, J., Kris-Etherton, P.M., 2010. Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated, and unsaturated fatty acids: a systematic review. *Am. J. Clin. Nutr.* 91, 46-63. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27661>
- Janusz, G., Czuryło, A., Frąc, M., Rola, B., Sulej, J., Pawlik, A., Siwulski, M., Rogalski, J., 2015. Laccase production and metabolic diversity among *Flammulina velutipes* strains. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 31, 121-133. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1769-y>
- Jurie, C., Picard, B., Hocquette, J.F., Dransfield, E., Micol, D., Listrat, A., 2007. Muscle and meat quality characteristics of Holstein and Salers cull cows. *Meat Sci.* 77, 459-466. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.014>
- Khlijji, S., Van de Ven, R., Lamb, T.A., Lanza, M., Hopkins, D.L., 2010. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Sci.* 85, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.002>
- Kim, Y.I., Park, J.M., Lee, Y.H., Lee, M., Choi, D.Y., Kwak, W.S., 2015. Effect of By-product Feed-based Silage Feeding on the Performance, Blood Metabolites, and Carcass Characteristics of Hanwoo Steers (a Field Study). *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28, 180–187. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0443>
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J., Lehman, H.A., 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 3343-3353. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73937-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73937-X)
- Ladeira, M. M., Schoonmaker, J. P., Swanson, K. C., Duckett, S. K., Gionbelli, M. P., Rodrigues, L. M., Teixeira, P. D. (2018). Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. *animal*, 1–13. S282–S294. <https://doi:10.1017/S1751731118001933>
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996. Feedbunk management evaluation techniques. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347–358.
- Lima, A.G.V., Oliveira, R.L., Silva, T.M., Barbosa, A.M., Nascimento, T.V.C., Oliveira, V. da S., Ribeiro, R.D.X., Pereira, E.S., Bezerra, L.R., 2018. Feeding sunflower cake from biodiesel production to Santa Ines lambs: Physicochemical composition, fatty

- acid profile and sensory attributes of meat. *PLoS One*, 13, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188648>
- Madruga, M. S., Elmore, J. S., Oruna-Concha, M. J., Balagiannis, D., Mottram, D. S. (2010). Determination of some water-soluble aroma precursors in goat meat and their enrolment on flavour profile of goat meat. *Food Chemistry*, 123(2), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.004>
- Martz, F.A., Belyea, R.L., 1986. Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. *J. Dairy Sci.* 69, 1996-2008. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80626-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80626-9)
- Matarneh, S.K., England, E.M., Scheffler, T.L., Gerrard, D.E., 2017. The conversion of muscle to meat. In: Lawrie's Meat Science (pp. 159-185). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00005-4>
- Mertens, D.R., 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Miller, R.K., 2004. Chemical and physical characteristics of meat: Palatability. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 256-266.
- Miltenburg, G.A., Wensing, T., Smulders, F.J., Breukink, H.J., 1992. Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment, and carcass color of veal. *J. Anim. Sci.* 70, 2766–2772. <https://doi.org/10.2527/1992.7092766x>
- Mizuno, T., 1995. Bioactive biomolecules of mushrooms: food function and medicinal effect of mushroom fungi. *Food Rev. Int.* 11, 5-21. <https://doi.org/10.1080/87559129509541017>
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M.M., Medel. I. Beltrán, J.A., 2010. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Sci.* 84, 662-671. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.028>
- Nakatsuka, H., Oda, M., Hayashi, Y., Tamura, K., 2016. Effects of fresh spent mushroom substrate of *Pleurotus ostreatus* on soil micromorphology in Brazil. *Geoderma*, 269, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.023>
- NRC, 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- O'Fallon, J.V., Busboom, J.R., Nelson, M.L., Gaskins, C.T., 2007. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *J. Anim. Sci.* 85, 1511-1521. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-491>



- Oltra, O.R., Farmer, L.J., Gordon, A.W., Moss, B.W., Birnie, J., Devlin, D.J., Tolland, E.L.C., Tollerton, I.J., Beattie, A.M., Farrell, D., 2015. Identification of sensory attributes, instrumental and chemical measurements important for consumer acceptability of grilled lamb *Longissimus lumborum*. *Meat Sci.* 100, 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.09.007>
- O'Quinn, T.G., Legako, J.F., Brooks, J.C., Miller, M.F., 2018. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. *Transl. Anim. Sci.* 2, 26-36. <https://doi.org/10.1093/tas/txx008>
- Ouali, A., Gagaoua, M., Boudida, Y., Becila, S., Boudjellal, A., Herrera-Mendez, C.H., Sentandreu, M.A., 2013. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Sci.* 95, 854-870. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.010>
- Ponnampalam, E.N., Dunshea, F.R., Warner, R.D., 2020. Use of lucerne hay in ruminant feeds to improve animal productivity, meat nutritional value and meat preservation under a more variable climate. *Meat Sci.* 170, 10823. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108235>
- Palmquist, D.L., Jenkins, T.C., 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *J. Anim. Sci.* 81, 3250-3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Park, Y.J., Baek, J.H., Lee, S., Kim, C., Rhee, H., Kim, H., Seo, J.S., Park, H.R., Yoon, D.E., Nam, J.Y., Kim, H.I., Kim, J.G., Yoon, H., Kang, H.W., Cho, J.Y., Song, E.S., Sung, G.H., Yoo, Y.B., Lee, C.S., Lee, B.M., Kong, W.S., 2014. Whole genome and global gene expression analyses of the model mushroom *Flammulina velutipes* reveal a high capacity for lignocellulose degradation. *PloS One*, 9, e93560. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093560>
- Platt, M.W., Hadar, Y., Chet, I., 1984. Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 20, 150-154. <https://doi.org/10.1007/BF00252594>
- Purslow, P.P., 2018. Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. *Meat Sci.* 144, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.026>
- Rangubhet, K.T., Mangwe, M.C., Mlambo, V., Fan, Y.K., Chiang, H.I., 2017. Enteric methane emissions and protozoa populations in Holstein steers fed spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substrate silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 234, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.005>

- Rasalanavho, M., Moodley, R., Jonnalagadda, S.B., 2020. Elemental bioaccumulation and nutritional value of five species of wild growing mushrooms from South Africa. *Food Chem.* 319, 126596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126596>
- Rhee, K.S., 1992. Fatty acids in meats and meat products. In: *Fatty acids in foods and their health implications* (ed. Chow, C. K.), pp 65–93. Marcel Dekker, New York.
- Royse, D.J., Baars, J., Tan, Q., 2017. Current overview of mushroom production in the world. *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications*, 5-13. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B., Santos-Silva, F.J.L.P.S., 2002. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: II. Fatty acid composition of meat. *Livest. Prod. Sci.* 77, 187-194. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
- Senger, C.C., Kozloski, G.V., Sanchez, L.M.B., Mesquita, F.R., Alves, T.P., Castagnino, D. S., 2008. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 146, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.12.008>
- Shackelford, S.D., Morgan, J.B., Cross, H.R., Savell, J.W., 1991. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. *J. Muscle Foods*, 2, 289. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1991.tb00461.x>
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., 1999. Evaluation of slice shear force as an objective method of assessing beef longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.* 77, 2693–2699. <https://doi.org/10.2527/1999.77102693x>
- Sharma, R.K., Arora, D.S. (2015). Fungal degradation of lignocellulosic residues: an aspect of improved nutritive quality. *Crit. Rev Microbiol.* 41, 52-60. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2013.791247>
- Singh, K.M., Ahmad, N., Sinha, D.K., Mishra, R.R. 2019. Augmenting Income and Employment through Mushroom production: A micro-level study of Samastipur district of Bihar (India). *Indian J. Chem. Stud.* 7, 4389-4392.
- Smet, S., Raes, K., Demeyer, D., 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Anim. Research*, 53, 81–98. <https://doi.org/10.1051/animres:2004003>
- Sukhija, P.S., Palmquist, D.L., 1988. Rapid method for determination of total fatty-acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36, 1202–1206. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00084a019>

- Tornberg, E.V.A., 2005. Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat Sci.* 70, 493-508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- Tsang, L.J., Reid, I.D., Coxworth, E.C., 1987. Delignification of wheat straw by *Pleurotus* spp. under mushroom-growing conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 53, 1304-1306. <https://doi.org/10.1128/aem.53.6.1304-1306.1987>
- Ulbricht, T.L., Southgate, D.A.T., 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m).
- Van Kuijk, S.J.A., Sonnenberg, A.S.M., Baars, J.J.P., Hendriks, W.H., Cone, J.W., 2015. Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: a review. *Biotechnol. Adv.* 33, 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.014>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vaskoska, R., Ha, M., Naqvi, Z.B., White, J.D., Warner, R.D., 2020. Muscle, ageing and temperature influence the changes in texture, cooking loss and shrinkage of cooked beef. *Foods*, 9, 1289. <https://doi.org/10.3390/foods9091289>
- Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., Mele, M., 2019. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *J. Dairy Sci.* 102, 3781-3804. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>
- Wang, X., Lin, H., Gu, Y. 2012. Multiple roles of dihomo- $\gamma$ -linolenic acid against proliferation diseases. *Lipids Health Dis.* 11, 1-9. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-25>
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, F.M., Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78, 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>

Zárate, R., el Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J.A., Rodríguez, C., 2017. Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and Translational Medicine*, 6, 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40169-017-0153-6>

Zhang, C., Zhang, H., Liu, M., Zhao, X. G., Luo, H., 2020. Effect of breed on the volatile compound precursors and odor profile attributes of lamb meat. *Foods*, 9, 1178. <https://doi.org/10.3390/foods9091178>

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O resíduo do cultivo de cogumelos substituiu em 100% o feno de Tifto-85 na alimentação dos cordeiros confinados, elevando o consumo de matéria seca, a retenção de nitrogênio e mantendo o desempenho e características de carcaça. Adicionalmente melhorou a qualidade da carne, por proporcionar aumento na quantidade de ácidos graxos poliinsaturados, como o CLA, benéfico para a saúde humana.

Soma-se a estes benefícios, a substituição permitiu dar um destino nobre ao resíduo, bem como reduzir a participação do farelo de soja na dieta dos animais, ingrediente este de maior custo.