

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

ELON SOUZA ANICETO

**DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS
FEZES DE BOVINOS, CAPRINOS E OVINOS**

Campos dos Goytacazes – RJ

2021

ELON SOUZA ANICETO

**DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS
FEZES DE BOVINOS, CAPRINOS E OVINOS**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal.

ORIENTADOR: Prof. RICARDO AUGUSTO MENDONÇA VIEIRA

Campos dos Goytacazes - RJ

2021


ELON SOUZA ANICETO

**DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS
FEZES DE BOVINOS, CAPRINOS E OVINOS**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2021

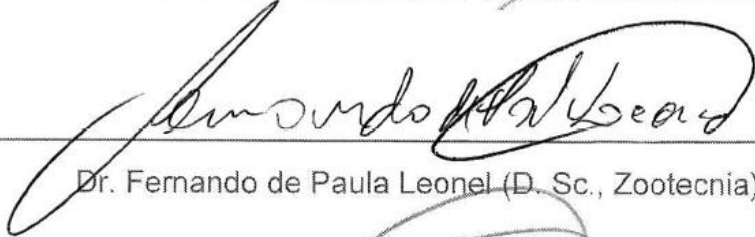
COMISSÃO EXAMINADORA:



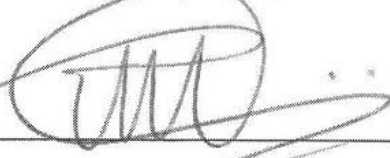
Dr. Jhone Gleison de Oliveira (D. Sc., Ciência Animal) – UENF



Dr. Matheus Lima Corrêa Abreu (D. Sc., Ciência Animal) - UFMT



Dr. Fernando de Paula Leonel (D. Sc., Zootecnia) – UFSJ



Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira (D. Sc., Zootecnia) - UENF
(Orientador)

A todas as pessoas que ousam ocupar lugares historicamente
Negados a sua classe, cor e/ou gênero. Brava gente!

AGRADECIMENTOS

“Quero muito agradecer a mim mesmo. Se eu fosse contar para vocês tudo o que aconteceu na minha história até eu chegar neste momento, talvez vocês nem acreditassem. Às vezes, nem eu acredito.”

Aos meus pais, que, desde cedo, me incentivaram a estudar e me apoiaram nesse caminho. A meu irmão Enos, o ser humano incrível em quem me espelho.

Sou grato ao POCs das Sandalhinhas, pessoas maravilhosas que me estenderam a mão e o ombro nesse decurso.

Aos amigos que o Ciência Animal me deu: Débora, Léo, Camila, Arthur, Jacyara e Lili.

Ao orientador RAM Vieira, pela confiança depositada e pelos ensinamentos.

Sou grato ao grupo de pesquisa, do qual participei ao longo desses dois anos, pelas valorosas lições de como não tratar as pessoas e sobre a necessidade da empatia.

A Isabela, pela ternura e pelas horas ao lado da *mufra*. Gratidão.

Ao Jhone, pelo auxílio na interpretação dos dados e na escrita.

Ao psicólogo Leandro pelo excelente apoio necessário para melhoria da minha qualidade de vida e para a conclusão deste curso.

Ao meu companheiro de vida Lázaro, por partilhar sonhos e destinos.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realização do curso, crescimento pessoal e profissional. À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

“If I had a world of my own, everything would be nonsense. Nothing would be what it is, because everything would be what it isn't. And contrary wise, what is, it wouldn't be. And what it wouldn't be, it would. You see?”

-Lewis Carroll, Alice's Adventures in Wonderland, 1865.

Resumo

O objetivo deste estudo foi caracterizar a distribuição de partículas de dieta, sobras, digesta e fezes de bovinos, caprinos e ovinos, alimentados à base de silagem de milho, por meio da técnica de peneiramento úmido de partículas e aplicação de diferentes modelos de distribuição de probabilidade. As dietas foram formuladas para múltiplos níveis de oferta diária de matéria orgânica fibrosa (aFDNom) escalonada para a massa corporal dos animais. Os quatro níveis de oferta de aFDNom foram: 4, 6, 8 e 10,5 g/(kg×dia), usando silagem de milho, farelo de soja, ureia e milho moído como ingredientes. O experimento foi realizado entre os meses de março e julho de 2020, no Setor de Caprinocultura da UENF. Foram usados quatro bovinos Jersey, quatro caprinos Saanen e quatro ovinos mestiços Santa Inês x Dorper, distribuídos em um delineamento experimental contendo três quadrados latinos 4 x 4, um quadrado por espécie, conduzidos de forma simultânea. Foram coletadas amostras da dieta, das sobras e das fezes de todos os animais. Além disso, também foi feita amostragem de conteúdo ruminal dos bovinos. Todas as amostras foram guardadas congeladas ($\approx -18^{\circ}\text{C}$) até a realização das análises laboratoriais. Em seguida, foi feito o peneiramento úmido e determinações de matéria seca e aFDNom do material retido em cada peneira. Considerando-se os dados experimentais sobre as partículas de fezes, foi usado o critério de informação de Akaike para a escolha do conjunto de modelos que melhor se ajustassem aos dados, a saber: o Weibull escalonado para massa dos animais (Sweibull) com efeitos fixos e aleatórios; O modelo Sweibull sem efeito fixo e com efeitos aleatórios; e o Weibull, sem escala, também sem efeito fixo e com efeitos aleatórios. O diâmetro teórico da partícula fecal foi calculado em cada modelo, em seguida, por meio da média de modelos, obteve-se o diâmetro teórico médio das partículas fecais de 1,05 mm. O modelo Weibull, aliado ao escalonamento para a massa corporal dos animais, mostrou boa qualidade de ajuste aos dados de distribuição de partículas fecais. Para bovinos, ovinos e caprinos alimentados à base de silagem de milho, o diâmetro teórico médio de partícula fecal é 1,05 mm.

Palavras-chave: Fibra, peneiramento, modelos, silagem, consumo.

Abstract

The objective of this study was to characterize the distribution of dietary particles, Orts, digesta, and feces of cattle, goats, and sheep through the particle wet sieving technique and application of different probability distribution models. The diets were formulated for multiple levels of daily supply of fibrous organic matter (aNDFom) staggered to the animals' body mass. The four levels of aNDFom offer were: 4, 6, 8 and 10.5 g/(kg×day), using corn silage, soybean meal, urea, and ground corn as ingredients. The experiment was carried out between March and July 2020, at the goat experimental farm of UENF. We used four Jersey steers, four Saanen goats and four Santa Inês × Dorper crossbred sheep, distributed in an experimental design with three Latin squares 4 × 4, one square per species, conducted simultaneously. Samples of diet, Orts, and feces were collected from all animals. In addition, we also sampled rumen content from the steers. All samples were kept frozen ($\approx -18^{\circ}\text{C}$) until the onset of the laboratory analyses. Then, wet sieving, dry matter analysis, and aFDNom determination of the material retained in each sieve were performed. Considering the experimental data on the feces particles, the Akaike information criterion was used to choose the set of models that best fit the data, the following: Weibull staggered for animal mass (Sweibull) with fixed and random effects, Sweibull model without fixed effect and with random effects, and the Weibull without scale, also without fixed effect and with random effects. The theoretical diameter of the fecal particle was calculated in each model, then, using the mean of models, we obtained the average theoretical diameter of the fecal particles of 1.05 mm. The Weibull model combined with the staggering for the animals' body mass showed good quality of fit to the data of fecal particle distribution. For cattle, sheep and goats fed on corn silage, the average theoretical fecal particle diameter is 1.05 mm.

Keywords: Fiber, sieving, models, silage, intake.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Fibra na nutrição de ruminantes.....	12
2.2. FDN efetiva e fisicamente efetiva.....	13
2.3. Tamanho de partículas e técnicas de peneiramento.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Área de estudo e dietas	16
3.2. Animais, desenho experimental e coletas.....	18
3.3. Peneiramento úmido	19
3.4. Análises bromatológicas	20
3.5. Análise estatística	21
3.6. Ajuste de modelo	21
4. RESULTADOS	24
4.1. Ajuste de modelo	24
4.2. Diâmetro teórico médio.....	27
5. DISCUSSÃO	28
5.1. Ajuste de modelo.....	28
5.2. Diâmetro teórico médio.....	29
6. CONCLUSÃO.....	31

1. INTRODUÇÃO

A fibra é um componente necessário à dieta dos ruminantes, uma vez que sua degradação e sua fermentação geram ácidos graxos de cadeia curta, que são prontamente absorvidos pelos animais. Esse processo é uma das principais formas de obtenção de energia para animais ruminantes cuja dieta baseia-se em alimentos volumosos (MERTENS, 2000). Além disso, a fibra também é essencial para que ocorra o estímulo da ruminação, o qual, por sua vez, induz a produção de saliva e contribui para a manutenção do equilíbrio do ambiente ruminal (MERTENS, 1997).

Denominam-se fibras aqueles elementos, geralmente carboidratos e lignina, encontrados na parede celular de vegetais, que apresentam baixa e lenta digestão, tendo a capacidade de restringir a ingestão de matéria seca e energia (MERTENS, 1987). A fibra é um dos principais constituintes dos volumosos tipicamente usados na alimentação de ruminantes na produção animal (HUHTANEN et al., 2006).

A alimentação dos animais pode configurar uma parte significativa dos custos de produção e, a depender do modelo, (HERD et al., 2003), representa de 40% a 70% do custo de produção (GIDENNE et al., 2017). Assim a eficiência dos alimentos usados nos sistemas é importante para que a atividade pecuária seja economicamente rentável. Quando nos referimos aos ruminantes domésticos, a produtividade dos animais depende, principalmente, de três fatores interdependentes: a qualidade da dieta, o consumo voluntário e a cominuição de partículas (POPPI et al., 1980).

A qualidade da dieta é determinada, principalmente, pela composição química e pela digestibilidade dos nutrientes. Por exemplo, dietas com grandes proporções de amido oriundo de grãos de cereais tendem a apresentar alta digestibilidade e rendimento energético, características importantes para a produção de carne e leite (HUHTANEN; SVEINBJÖRNSSON, 2006). Por outro lado, alimentos ricos em fibra, como as forragens, apresentam menor digestibilidade. Neste caso, a digestão ocorre de forma mais lenta devido ao tempo necessário para que a microbiota presente no rúmen-retículo possa colonizar e degradar a fibra (LECHNER-DOLL et al., 1991; VAN SOEST, 1994), e, também, à frequente necessidade de cominuição das partículas.

O consumo voluntário é uma medida da quantidade de comida e nutrientes ingeridos que nos permite estimar a quantidade de produto animal a ser elaborado

(MERTENS, 1987). Ele é regulado, essencialmente, por três tipos de mecanismos: psicogênico, que está vinculado a situações de inibição ou estímulo relacionadas ao alimento/ambiente; fisiológico, que é regulado pelo balanço nutricional da dieta; e físico, que está relacionado à capacidade de repleção do rúmen (MERTENS, 1994).

A cominuição de partículas é o processo pelo qual os fragmentos de alimentos têm seu tamanho reduzido mediante mastigação/ruminação e está intimamente ligado ao consumo voluntário (WELCH, 1982). Enquanto a mastigação e a ruminação reduzem o tamanho das partículas, as câmaras pré-gástricas dos ruminantes atuam na retenção de partículas grandes para que sejam diminuídas mecanicamente e possam seguir o fluxo no trato gastrointestinal (ULYATT et al., 1986; PEREIRA et al., 2002), liberando espaço no rúmen e estimulando o consumo voluntário.

De acordo com Mertens et al. (1984), partículas recém-ingeridas e outras com tamanho grosseiro de baixa densidade formam um sobrenadante, no rúmen, chamado *raft*. As ações mecânicas das mastigações, auxiliadas pelas ações enzimáticas da degradação, promovem a redução gradativa do tamanho dessas partículas até certo ponto. Com o tempo, tais partículas hidratam-se, ganham densidade e migram para a região ventral do rúmen junto à fase líquida, formando o *pool* de partículas escapáveis (BALCH, 1950; SUTHERLAND, 1988; VIEIRA et al., 2008, 2020; WALZ et al., 2004).

A teoria do tamanho crítico de partícula a escapar do rúmen foi elucidada por Poppi et al. (1980) e se baseia na suposição de que partículas de tamanho igual ou superior a 1,18 mm não são capazes de deixar o rúmen. Efetivamente, pouco menos de 5% das partículas superiores a 1,18 mm conseguem escapar do rúmen. Porém, de acordo com esses mesmos autores, o teor de fibra do alimento pode influenciar no percentual de escape de partículas grandes, de modo que, em alimentos com maiores teores de fibra, também haja maior oportunidade de escape de partículas grandes.

Portanto caracterizar a distribuição de partículas da dieta, sobras, digesta e fezes de bovinos, caprinos e ovinos alimentados à base de silagem de milho, por meio da técnica de peneiramento úmido de partículas e aplicação de diferentes modelos de distribuição de probabilidade, pode ser útil em minimizar erros de estimativas nutricionais e melhorar o planejamento alimentar dos rebanhos, por meio de uma estimativa mais exata e precisa do consumo alimentar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. FIBRA NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

Os ruminantes descendem de grupos de selenodontes artiodáctilos que emergiram e radiaram durante o Eoceno na era cenozoica. A rápida diversificação e expansão geográfica é um dos aspectos mais influenciadores da alta diversidade desses mamíferos (FERNÁNDEZ; VRBA, 2005). Dentre as diversas adaptações ao longo da escala evolutiva, uma das mais notórias é a simbiose do ruminante com microbiota (bactérias, fungos e protozoários) presente nas câmaras gastrintestinais, permitindo aos animais o aproveitamento de nutrientes contidos em plantas fibrosas, pois são incapazes de produzir enzimas necessárias à digestão da fibra (HOFMANN, 1989). Na fração fibra estão contidos elementos, principalmente carboidratos, cuja digestão ocorre lentamente, ou simplesmente não ocorre, a depender de suas concentrações ou digestibilidade pela associação com a lignina, um composto fenólico com baixíssima ou nenhuma digestibilidade, que pode restringir a ingestão de matéria seca e energia (MERTENS, 1987).

Os carboidratos são os principais constituintes das plantas forrageiras, uma vez que representam cerca de 50 a 80% da matéria seca (MS) da planta e dos grãos cereais (HUHTANEN et al., 2006). Eles abrangem uma gama de compostos orgânicos com variados perfis de fermentação e digestão que se comportam de formas diferentes no organismo do animal (COSTA et al., 2013), podendo ser classificados, de acordo com o grau de digestibilidade no trato gastrintestinal, em fibrosos (CF) e não fibrosos (CNF) (MERTENS, 2000; HUHTANEN et al., 2006).

Os CNF são nutrientes, tais como glicose, sacarose, amido e pectina, que, ao chegarem no rúmen, são ligeiramente fermentados pelos microrganismos (VAN SOEST, 1994). Os CF, por sua vez, são comumente encontrados constituindo a parede celular, sendo eles a celulose e a hemicelulose, os quais, juntamente com a lignina (polímero não carboidrato), são os fatores mais importantes na determinação da qualidade nutritiva das forragens, pois, além de ocuparem espaço no trato digestório, ainda requerem mastigação para redução do tamanho de suas partículas e passagem através do sistema digestivo (VAN SOEST, 1994; COSTA et al., 2013). É importante frisar que a pectina, apesar de ser encontrada na parede celular vegetal,

não é um carboidrato fibroso, pois é rapidamente degradada e não se comporta como fibra (HALL, 2003).

A fibra na dieta de ruminantes é fundamental, pois sua degradação e fermentação no rúmen resultam na formação de ácidos graxos voláteis, os quais são as principais fontes de energia para os animais alimentados com dietas ricas em forragens (MERTENS, 2000). Ademais, a fibra é essencial para que haja ruminação, contribuindo para a manutenção do equilíbrio do ambiente ruminal (MERTENS, 1997).

O uso de forragem como a principal fonte de alimento na produção de ruminantes nos trópicos é muito comum, principalmente devido a dois fatores. O primeiro deles é o fato de as plantas forrageiras serem, comprovadamente, a alternativa mais barata para a alimentação de rebanhos (PEREIRA et al., 2001). O segundo fator é a simplicidade de acesso e ajuste nos mais variados ambientes. Assim, na maioria das vezes, o uso de concentrado se faz apenas para a correção de deficiências nutricionais da forragem (MERTENS, 1997). Contudo, durante o desenvolvimento vegetativo das plantas, há modificações estruturais que alteram as proporções de seus componentes, o que implica, diretamente, na alteração do seu valor nutricional. Os carboidratos disponíveis como nutriente para o animal dependem dos açúcares que os compõem, das ligações entre eles e de diversos outros fatores de natureza físico-química (VAN SOEST, 1994).

2.2. FDN EFETIVA E FISICAMENTE EFETIVA

O estímulo à mastigação de um ruminante é resultado da efetividade da porção fibrosa do vegetal, a qual é representada pela fibra em detergente neutro (FDN), também nomeada de carboidratos fibrosos, porção composta pelas frações da celulose e da hemicelulose em associação com a lignina (SILVA; NEUMANN, 2013). Assim pode-se definir efetividade como a capacidade de um alimento ou dieta estimularem a atividade física motora do trato gastrintestinal (TGI), já que, seletivamente, os ruminantes retêm fibra no rúmen por um tempo adequado para a digestão, o que ocorre devido à ingestão de partículas longas durante a alimentação (JÚNIOR et al., 2007).

De acordo com as observações de Mertens (2001), a efetividade da fibra na manutenção da percentagem de gordura no leite é diferente da efetividade da fibra em estimular a atividade de mastigação. A FDN efetiva (eFDN) está relacionada à

habilidade total de um alimento em substituir a forragem de maneira que a porcentagem de gordura no leite não seja alterada (MERTENS, 2000). Esse conceito engloba todas as características do alimento que ajudam a manter a síntese de gordura do leite (MERTENS, 2000). Então a depressão da gordura no leite pode funcionar como um indicador grosseiro de dietas inadequadas.

A FDN fisicamente efetiva (peFDN), por sua vez, está relacionada às propriedades físicas da fibra, em sua maior parte com o tamanho da partícula, que estimula a atividade de mastigação e estabelece uma estratificação bifásica dos conteúdos ruminais, divididos em camada flutuante com grandes partículas em um *pool* líquido com pequenas partículas (MERTENS, 1987). A peFDN é mais precisa, pois é um atributo do alimento que está baseado em uma escala fixa de valores de referência, fornecendo uma medida mais eficiente da fibra efetiva, pois está baseado em duas propriedades fundamentais dos alimentos: fibra e tamanho de partícula, aliado à independência de fatores animais (MERTENS, 2001).

A FDN fisicamente efetiva sempre será menor do que a FDN total, no entanto a FDN efetiva pode ser menor ou maior que a concentração de FDN total em um alimento (MERTENS, 1987). Logo pode-se afirmar que uma redução no nível de fibra efetiva na dieta resulta em uma série de eventos que ocorrem em cascata: menor mastigação pelo animal, menor secreção de saliva (combinado com uma maior produção de ácidos graxos voláteis), que causam decréscimo no pH ruminal, mudança nas populações microbianas, redução na relação acetato:propionato e depressão da gordura do leite (MERTENS 2001).

2.3. TAMANHO DE PARTÍCULAS E TÉCNICAS DE PENEIRAMENTO

Para entender ou prever a passagem da digesta, é essencial ter informações não apenas sobre o tamanho, a estrutura do trato gastrointestinal e sua atividade motora, mas também sobre as propriedades físicas da dieta e da digesta (UDÉN e VAN SOEST, 1982). O tamanho da partícula dos alimentos, por exemplo, influencia a área superficial disponível para o acesso dos microrganismos, estimulando sua multiplicação, e também tem papel na taxa de passagem dos alimentos pelo TGI (CHENG et al., 1977).

A cominuição da forragem pelo animal, resultando em um tamanho reduzido de partícula, facilita o transporte no TGI. A taxa de redução do tamanho de partícula, a

densidade da digesta e as características do fluxo, determinadas pelo formato das partículas da digesta, são fatores importantes, pois podem afetar a taxa de passagem e, finalmente, a digestibilidade e a ingestão de alimentos (UDÉN e VAN SOEST, 1982). Poppi et al. (1980) relataram uma série de estudos em que foram observados tamanhos de partícula da digesta no TGI dos animais, idealizando assim um conceito de tamanho crítico de partícula favorável ao escape do rúmen.

Segundo Reid (1984), a passagem das partículas para o abomaso está diretamente ligada à probabilidade de elas estarem presentes na cavidade abdominal do retículo no momento da abertura do orifício retículo-omasal. Desse modo, a maior concentração de partículas pequenas e de alta densidade, localizadas na região ventral do retículo, em relação ao rúmen ventral e dorsal, é o motivo para o fluxo preferencial deste tipo de partícula (SUTHERLAND, 1988; PEREIRA et al., 2002).

Várias técnicas têm sido avaliadas para subdividir e agrupar as partículas de amostras do alimento e da digesta em frações de tamanhos definidos. Uma delas é a técnica do peneiramento seco, usada em solos e fertilizantes, a qual foi adaptada e padronizada para ser empregada em alimentos moídos e triturados (PEREIRA et al. 2002). Smith e Waldo (1969) modificaram o método da FDN de Van Soest para fazer uma preparação nas amostras, a fim de evitarem que as partículas se quebrassem durante o peneiramento seco da amostra da digesta seca, e, para isso, removeram a interferência do efeito cimentante da proteína, que separa os agregados sem uso de força mecânica e elimina a possível alteração de tamanho da partícula, aplicando, posteriormente, a técnica do peneiramento seco. Porém um outro inconveniente foi observado. As partículas tenderam a quicar nas telas quando peneiradas, passando pela tela com a extremidade curta primeiro.

A técnica do peneiramento úmido, também aplicada a análises de solos, usada por Bourget e Kemp (1957), foi adaptada por Poppi et al. (1980) para o fracionamento da digesta. Diferentemente da técnica anterior, nenhum tratamento dispendioso de pré-análise se faz necessário. A única recomendação é que amostras de alimento e fezes fiquem de molho por 24 horas antes do peneiramento para prevenir que flutuem na água. Uma das maiores vantagens do peneiramento úmido é que a distribuição das partículas da digesta é determinada no estado normal de hidratação ruminal, de modo que a quebra de partícula durante o peneiramento seja menos provável (FAICHNEY, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO E DIETAS

O experimento apresentado neste trabalho foi realizado entre os meses de março e julho de 2020, no Setor de Caprinocultura, na Estação Experimental anexa ao Colégio Agrícola Antônio Sarlo da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro (21°38'57,48" S e 41°20'34,65" W), altitude de 15 m acima do nível do mar, onde o clima predominante é Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006).

As diferentes dietas foram formuladas para múltiplos níveis de oferta diária de matéria orgânica fibrosa (aFDNom¹). Os quatro níveis de oferta de aFDNom foram: 4, 6, 8 e 10,5 g/(kg×dia), usando-se silagem de milho, farelo de soja, ureia e milho moído como ingredientes (Tabela 1). A formulação das dietas com planos nutricionais crescentes para o nível de oferta de aFDNom foi abordada como um problema de programação não linear, conforme procedimento descrito por Jardim et al. (2013; 2015).

As exigências em energia e proteína metabolizáveis foram calculadas com base no AFRC (1993), de modo que todas as dietas foram programadas para serem isoproteicas e isoenergéticas. Inicialmente, os quatro níveis de oferta de aFDNom foram formulados para atenderem às exigências nutricionais dos bovinos e depois foi feita uma relação dos ingredientes em função da massa corporal para as demais espécies. O algoritmo do modelo foi programado por meio da ferramenta *Solver*[®] do *software* Microsoft Excel[®] 2016.

¹ aFDNom: Metodologia da extração da fibra em detergente neutro com adição de sulfito, solução padronizada de α -amilase termoestável (termamyl 2X) e incineração do resíduo para correção das cinzas.

Tabela 1. Ingredientes das dietas experimentais de cada animal em cada período.

Animal	Período	Trat.	Ingredientes dietéticos (kg)			
			Silagem	Milho moído	Ureia	F. Soja
C1	1	A	1,90	0,732	0,004	0,090
C1	2	D	5,226	0,044	0,024	0,052
C1	3	B	3,068	0,52	0,010	0,076
C1	4	C	4,270	0,252	0,014	0,106
C2	1	A	5,871	0,350	0,020	0,106
C2	2	B	3,988	0,697	0,014	0,101
C2	3	D	7,696	0,063	0,032	0,073
C2	4	A	2,814	1,074	0,005	0,132
C3	1	D	6,872	0,056	0,029	0,029
C3	2	C	4,765	0,293	0,017	0,089
C3	3	A	2,385	0,920	0,004	0,113
C3	4	B	4,006	0,673	0,013	0,098
C4	1	B	4,299	0,729	0,729	0,106
C4	2	A	2,829	1,124	1,124	0,138
C4	3	C	6,649	0,397	0,023	0,12
C4	4	D	8,709	0,070	0,036	0,082
O1	1	A	1,890	0,729	0,003	0,09
O1	2	C	3,807	0,234	0,013	0,013
O1	3	D	5,383	0,044	0,023	0,051
O1	4	B	3,121	0,524	0,524	0,076
O2	1	C	4,017	0,240	0,240	0,073
O2	2	B	2,734	0,478	0,478	0,07
O2	3	A	1,905	0,735	0,003	0,003
O2	4	D	5,684	0,046	0,024	0,024
O3	1	B	3,173	0,538	0,011	0,078
O3	2	D	5,437	0,046	0,024	0,053
O3	3	C	4,327	0,258	0,258	0,078
O3	4	A	1,990	0,760	0,004	0,093
O4	1	D	6,056	0,049	0,025	0,025
O4	2	A	1,997	0,794	0,004	0,004
O4	3	B	3,354	0,569	0,011	0,083
O4	4	C	4,710	0,278	0,016	0,016
B1	1	B	20,938	3,551	3,551	0,517
B1	2	A	12,859	5,109	0,024	0,628
B1	3	C	29,924	1,786	0,102	0,541
B1	4	D	40,698	0,329	0,170	0,170
B2	1	D	43,063	0,351	0,351	0,410
B2	2	C	32,359	1,990	1,990	0,603
B2	3	A	16,046	6,188	6,188	0,761

B2	4	B	26,159	4,392	0,086	0,640
B3	1	C	33,656	2,009	0,115	0,609
B3	2	B	23,874	4,172	0,082	0,608
B3	3	D	46,427	0,379	0,195	0,442
B3	4	A	16,209	6,188	0,029	0,761
B4	1	A	11,718	4,519	0,021	0,556
B4	2	D	31,674	0,266	0,137	0,311
B4	3	B	18,900	3,206	0,063	0,467
B4	4	C	27,225	1,608	0,092	0,487

C:Caprino; O: Ovino; B: Bovino; A: tratamento com 4 g/(kg×dia) de aFDNom; B: tratamento com 6 g/(kg×dia) de aFDNom; C: tratamento com 8 g/(kg×dia) de aFDNom; D: tratamento com 10,5 g/(kg×dia) de aFDNom.

3.2. ANIMAIS, DESENHO EXPERIMENTAL E COLETAS

Foram utilizados quatro bovinos da raça Jersey, adultos fistulados no rúmen, com massa corporal (MC) média inicial de 439 ± 50 kg. Eles foram mantidos segundo os cuidados de manutenção de animais com cânulas ruminais permanentes (protocolo CEUA/UENF número 380 de 28/11/2017). Também, foram utilizados quatro caprinos Saanen com MC média inicial de 80 ± 10 kg e quatro ovinos mestiços Santa Inês × Dorper com MC médio inicial de 60 ± 10 kg. Todos os animais do experimento eram adultos, machos e já adquiridos castrados. Eles foram distribuídos em um delineamento experimental contendo três quadrados latinos 4×4 , um quadrado por espécie, conduzidos de forma simultânea. Durante o experimento, os bovinos foram mantidos em baias individuais de alvenaria semicobertas de 2×5 m², dotadas de comedouro e bebedouro. Os caprinos e ovinos foram mantidos individualmente em gaiolas padrão para ensaios de digestão e metabolismo (A=1,1 m; L=0,8 m; C=1,4 m), com livre acesso a água e comedouro.

Preliminarmente, todos os animais foram identificados, vermifugados contra ecto e endoparasitas, e permaneceram por 14 dias em um período de pré-adaptação às condições experimentais. Após esse decurso, foi dado início ao experimento, o qual foi dividido em quatro períodos experimentais, com duração de 21 dias cada, em que os primeiros 14 dias foram destinados à adaptação dos animais às dietas experimentais do período em curso e os outros sete dias, para a realização das coletas. No começo da pré-adaptação e no fim dos períodos experimentais, todos os animais foram pesados a fim de se ajustarem as dietas para o período subsequente. Além disso, todos foram adereçados com sacos de coleta fecal.

Registros do montante oferecido, sobras e fezes, foram efetuados diariamente durante os períodos de coletas. Os animais foram alimentados duas vezes ao dia, às 08h e às 20h e as amostras de sobras e ingredientes foram coletadas antes da oferta matinal de alimentos. Na coleta de ingredientes, amostraram-se 500 g de cada alimento (silagem de milho, farelo de soja e milho moído). Nas sobras e fezes, realizou-se coleta total para os pequenos ruminantes e um mínimo de 3 kg para os bovinos, quando possível. A coleta das fezes ocorreu por volta das 09h.

A coleta da digesta dos bovinos se deu mediante a técnica de esvaziamento ruminal, a qual aconteceu da seguinte forma: Após abrir a fístula ruminal, todo material contido no rúmen foi removido manualmente com o auxílio de recipientes plásticos e transferido para reservatórios de polietileno, registrando-se a massa total da digesta. Em seguida, o material foi homogeneizado e uma amostra de aproximadamente 3 kg foi coletada. O restante da digesta foi colocada de volta no rúmen e a fístula foi tampada. Essa ação durava em média 30 minutos. Os esvaziamentos ocorreram nos tempos 0; 4; 8; 12; 16 e 20 h após a alimentação matinal, de modo que o tempo 0 corresponde a duas horas antes da primeira refeição do dia.

Ao decorrer dos sete dias de coleta de cada período, todas as amostras de alimentos, sobras, fezes e digesta equivalentes a cada dia/tempo foram identificadas, armazenadas em sacos plásticos e congeladas em freezer ($\approx -18^{\circ}\text{C}$). Ao final de cada período, as amostras foram descongeladas, homogeneizadas a partir da técnica de quartilhamento e, assim, obteve-se uma amostra composta de cada material referente ao respectivo período experimental.

3.3. PENEIRAMENTO ÚMIDO

Para a determinação da granulometria, as amostras foram previamente processadas e analisadas conforme adaptação da metodologia descrita por Poppi et al. (1980). As amostras de alimentos, sobras, fezes e digesta passaram uma noite descongelando. Pela manhã, foram pesadas 100 g em um becker. Em seguida, o becker foi preenchido com água da torneira até que a amostra presente fosse submersa, onde permaneceu pelo tempo mínimo de 30 minutos para evitar possíveis flutuações e assegurar a dispersão em água durante o peneiramento. Para as fezes dos caprinos e ovinos, foi necessário desfazer as sibalas antes da adição da água no

becker, pois estas não se desfaziam, o que inviabilizaria, conseqüentemente, as próximas etapas da análise.

Depois do tratamento prévio, as amostras estavam prontas para o peneiramento por via úmida. Foi utilizado equipamento PRODUTEST, com um conjunto de 7 peneiras de 20 cm de diâmetro, 5 cm de profundidade e aberturas de tela de 25,4 mm; 9,52 mm; 4,0 mm; 2,0 mm; 1,18 mm; 0,5 mm e 0,075 mm, arranjadas de forma decrescente de acordo com diâmetro de abertura da tela. As amostras foram transferidas quantitativamente do becker para a primeira peneira no topo do equipamento, o fluxo de água da torneira foi acionado entre 2,5 e 3,0 L/min para o peneiramento das fezes e 3,5 L/min para as demais amostras. O rotor foi posicionado na intensidade 10, e o tempo de peneiramento foi igual a 10 min, o suficiente para que as partículas pudessem alcançar estabilidade de conteúdo em cada peneira.

Logo após, o material retido em cada peneira foi transferido quantitativamente para bandejas de alumínio de peso conhecido, as quais foram levadas para a estufa de ventilação forçada a 55°C, onde permaneceram por 48 horas. Depois foram pesadas e, por subtração, obteve-se o valor da subamostra pré-secada retida em cada peneira. As subamostras retidas em peneiras de poros superiores a 1 mm foram moídas em moinho de facas tipo Willey, e, assim como as demais, guardadas em potes plásticos para posteriores análises bromatológicas.

3.4. ANÁLISES BROMATOLÓGICAS

As amostras compostas dos alimentos, sobras, digesta e fezes, assim como das subamostras retidas nas peneiras foram analisadas para matéria seca (MS, método 967.03; AOAC, 1998) e matéria orgânica da fibra (aFDNom) pelo método 2002.04 (MERTENS, 2002).

A massa de aFDNom retida em cada peneira foi expressa em proporção da massa total retida nas sete peneiras, mais o valor aproximado de escape, enquanto a massa de aFDNom acumulada foi calculada para cada peneira como a proporção de massa total que seria retida por esta peneira, ou seja, a massa de aFDNom retida em uma peneira específica mais a retida nas peneiras de aberturas do poro imediatamente superiores, expressa, também, em proporção.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O peneiramento úmido produziu vários perfis de distribuição de tamanhos de partícula. Os modelos usados para interpretar quantitativamente esses perfis foram o modelo Weibull e o modelo Exponencial. O Weibull, como uma distribuição de densidade de probabilidade (Weibull *p.d.f.*), é um caso particular da distribuição Gama generalizada (CARLTON; DEVORE, 2014). A distribuição Weibull é flexível e imita a distribuição exponencial quando seu parâmetro de forma é igual a um. Portanto o modelo geral assume as seguintes equações:

$$\mu_y = \mu_0 f(x) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$f(x) = \eta \lambda^\eta x^{\eta-1} \exp(-(\lambda x)^\eta) \quad \text{Eq. (2)}$$

O valor esperado para a massa (g) das partículas retidas na peneira de x diâmetro (mm) é μ_y , e a massa retida observada é y . A interceptação é μ_0 e corresponde à massa inicial de partículas adicionadas ao aparelho de peneiramento úmido.

O efeito da massa corporal (W) foi dimensionado pela escala μ_y para o tamanho corporal, da seguinte forma:

$$\mu_y^s W^\beta = \mu_y \quad \text{Eq. (3)}$$

Portanto

$$\mu_y^s = (\mu_0/W^\beta) \eta \lambda^\eta x^{\eta-1} \exp(-(\lambda x)^\eta) \quad \text{Eq. (4)}$$

O expoente β dimensiona a massa das partículas para W .

3.6. AJUSTE DE MODELO

O modelo de Weibull foi ajustado, inicialmente, assumindo-se que $\eta = 1$, o que reduz o modelo à distribuição exponencial. Na sequência, várias versões dos modelos exponencial e Weibull foram ajustadas, utilizando-se a função *nlme* do R (PINHEIRO et al., 2017). O modelo e suas várias versões foram ajustados de acordo com o uso da formulação estocástica geral:

$$y = \mu_0 f(x) + e \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que y é a massa de aFDNom das partículas retidas na i -ésima peneira. Os parâmetros da Eq. (5) foram modelados para permitir a introdução do tratamento,

quadrado, interação tratamento x quadrado, tanto na forma com escala, quanto na forma sem escala. Além disso, a formulação geral para agrupar dados seguiu duas possibilidades de agrupamento:

$$ysieve \vee sa/sap \quad \text{Eq. (6)}$$

$$ysieve \vee sa \quad \text{Eq. (7)}$$

Na Eq. (6), a variável dependente foi agrupada em uma estrutura hierárquica. Os grupos sa e sap referem-se a: o animal dentro do quadrado (sa); e interação período x animal dentro de quadrado (sap).

As variâncias foram modeladas assumindo-se a tradicional homoscedástica e estocástica independente, e introduzindo-se funções de variância e uma matriz de correlação da seguinte forma:

$$\sigma_y^2 = \sigma^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\sigma_y^2 = \sigma^2 |\mu_0 f(x)|^{2\psi} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\text{cov}(e_x, e_{x'} | u) = \sigma^2 \phi^{|x-x'|} \quad \text{Eq. (10)}$$

O termo de erro para cada x-crivo (e_x) segue uma matriz de correlação na Eq. (10), com uma função de potência da média (Eq. 9) para explicar a heterocedasticidade, e a suposição tradicional para homoscedasticidade quando $\phi = 0$ e Eq. (8) é válida de acordo com dados.

O tamanho médio de partícula e a probabilidade de retenção de partículas de 0,95 foram calculados. O primeiro é dado por

$$\theta_{ps} = \Gamma(1 + \eta^{-1}) \lambda^{-1} \quad \text{Eq. (11)}$$

A função de distribuição cumulativa de $f(x)$ é dada por

$$F(x) = 1 - \exp(-(\lambda x)^\eta) \quad \text{Eq. (12)}$$

E a probabilidade de 0,95 partículas escaparem do sistema é

$$E(x) = 1 - F(x) = \exp(-(\lambda x)^\eta) \quad \text{Eq. (13)}$$

Portanto o diâmetro teórico das partículas que escapam é dado por

$$x = \lambda^{-1} (-\log(0.05))^{\eta^{-1}} \quad \text{Eq. (14)}$$

Diversas versões do modelo foram avaliadas a partir da abordagem Teórica da Informação (BURNHAM et al., 2011a; b). Os modelos foram ranqueados por suas probabilidades calculadas e a necessidade de cálculo da média do modelo foi verificada. Se a incerteza de escolha do modelo com maior probabilidade (w_{max}) no conjunto de modelos viáveis for maior que 0,10, ou seja, $1 - w_{max} > 0.1$, é necessário um processo de média do modelo. Em sequência, as probabilidades do modelo são ranqueadas até que a escolha de um j -ésimo modelo faça a soma pelo menos igual a 0,95, ou seja, $\sum_j w_j \geq 0.95$. Posteriormente, as probabilidades do modelo foram normalizadas para um: $\sum_j w'_j = 1$ e w'_j é a probabilidade normalizada.

As previsões médias foram obtidas tomando-se qualquer função não linear dos parâmetros ($\hat{g}(\theta)$) como o seguinte produto:

$$\hat{g}(\theta) = \sum_j w'_j \hat{g}_i(\theta). \quad \text{Eq. (15)}$$

Em que $\hat{g}(\theta)$ é a previsão média e $\hat{g}_i(\theta)$ é a estimativa de uma determinada solução de modelo no conjunto de modelos viáveis escolhidos, de acordo com os dados.

4. RESULTADOS

4.1. AJUSTE DE MODELO

Considerando-se os dados experimentais disponíveis sobre as partículas de fezes, foi usado o critério de informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) para escolher o modelo que demonstrasse melhor qualidade de ajuste aos dados.

Inicialmente, foi desafiada a pressuposição de independência e variância homogênea entre os erros. Desse modo, foram ajustados os modelos não lineares das distribuições Exponencial (EXP), Weibull e Weibull escalonado para massa (Sweibull) dos animais sem efeito fixo e aleatório (no) com variância homogênea (homog). Contudo a inclusão de fatores fixos como interação entre tratamento e quadrado (tsq), tratamento (trt), valor de partículas que escaparam do sistema (m_0), efeito de tratamento sobre m_0 (trt- m_0) e tratamento sobre η (trt- η), e/ou aleatórios como m_0 , animal dentro do quadrado (sa), interação entre período e animal dentro de quadrado (sap), η e matriz diagonal (D) foi necessária para modelar uma variância heterogênea e assumir correlação entre erros, o que implicou em melhora na qualidade de ajuste de modo geral.

A pressuposição de variância homogênea e ausência de correlação entre os erros contribuiu substancialmente para o aumento dos valores de $AICcr$ dos modelos ajustados, o que resultou em medidas inadequadas de qualidade de ajuste, como o Δ , por exemplo. Outro fator determinante para a qualidade do ajuste foi o modelo de distribuição selecionado. De forma genérica, o modelo EXP teve os piores ajustes, enquanto o Sweibull obteve os melhores ajustes.

Assim os três piores modelos (Tabela 2) foram aqueles que assumiram variância homogênea dos erros, os quais são o EXP sem efeitos fixos (apenas com parâmetros da média geral) e aleatórios, seguido do Weibull, também sem efeitos fixos (apenas com os parâmetros da média geral) e aleatórios, e o Weibull com a interação entre tratamento e quadrado (tsq) como parâmetro de fator fixo, e m_0 , sa e sap como efeitos de fator aleatório.

Conforme determinado anteriormente, as probabilidades dos modelos (w) foram ranqueadas para escolha até que um j -ésimo modelo fizesse a soma de, no mínimo, 0,95 de probabilidade. Juntos, os três melhores modelos escolhidos

apresentaram 0,976 de probabilidade, alcançando, assim, o valor de abrangência proposto neste estudo. Além disso, todos os modelos escolhidos possuem variâncias heterogêneas e erros correlacionados, o que também promoveu melhor qualidade no ajuste aos dados.

Portanto a melhor solução é dada pela escolha dos três seguintes modelos: o Sweibull, com parâmetros de tratamento e m_0 como efeitos fixos, e m_0 e sa como parâmetros para efeitos aleatórios; O modelo Sweibull sem efeito fixo, e tendo m_0 e sa como parâmetros para efeitos aleatórios e o Weibull, sem escala, também sem efeito fixo, e tendo m_0 e sa como parâmetros para efeitos aleatórios.

Tabela 2. Estimativa do logaritmo da função de verossimilhança ($-\hat{\ell}_r$) e critérios de informação derivados para os modelos ajustados não lineares Exponencial, Weibull e Weibull escalonado para massa (Sweibull).

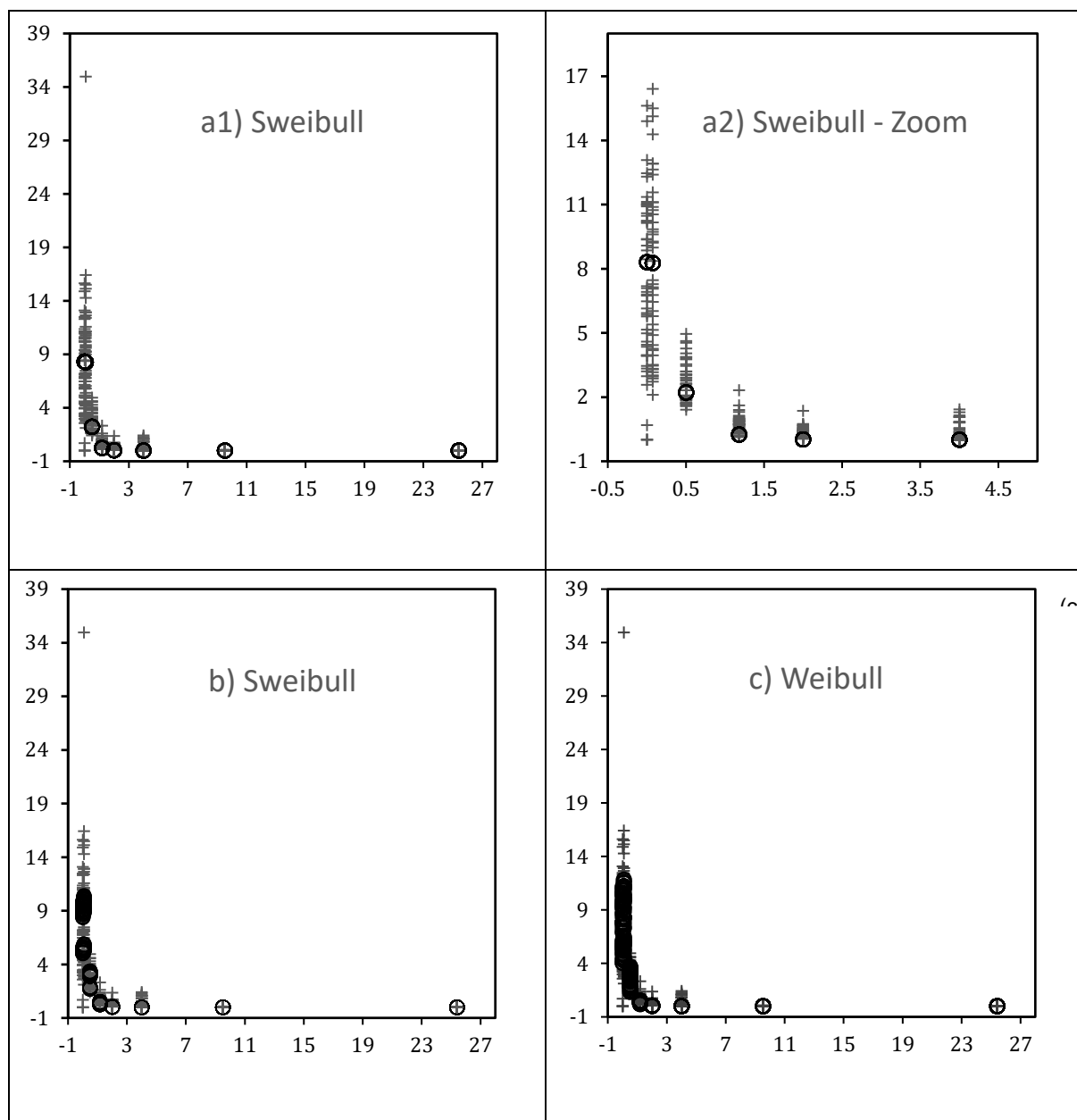
Modelo	Fixo	Aleatório	Variância	df	$-\hat{\ell}_m$	AICc	Δ	w'_j	RE
EXP	no	no	homog	3	-823,4083	1652,9	2336,9	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	no	no	homog	4	-815,7012	1639,5	2323,5	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	tsq	$m_0, sa/sap$	homog	39	-444,1754	975,4	1659,4	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	no	D, sa	vp,corr	8	-118,156	252,7	936,7	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	trt	no	vp,corr	15	47,72227	-64,1	619,9	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	trt	η, sap	vp	15	66,11843	-100,9	583,1	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Exp	trt- m_0	m_0, sa	vp,corr	12	270,1269	-515,4	168,6	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
EXP	no	no	vp	4	301,1019	-594,1	89,9	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
EXP	no	no	vp,corr	5	302,4052	-594,7	89,3	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	no	no	vp	5	319,1169	-628,1	55,9	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Weibull	no	no	vp,corr	6	323,8886	-635,6	48,4	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$
Sweibull	trt- η	no	vp,corr	10	339,402	-658,2	25,8	$\rightarrow 0$	400.312
Sweibull	no	no	vp	6	339,2306	-666,2	17,8	$\rightarrow 0$	7331
Sweibull	no	no	vp,corr	7	342,539	-670,8	13,2	0,001	735
Weibull	trt- m_0	m_0,sa	vp,corr	10	348,8616	-677,1	6,9	0,026	31
Weibull	no	m_0,sa	vp,corr	7	346,4716	-678,6	5,4	0,056	14
Sweibull	no	m_0,sa	vp,corr	8	347,9862	-679,6	4,4	0,094	9
Sweibull	trt- m_0	m_0,sa	vp,corr	11	353,3573	-684	0	0,826	1

Variância: Homogênea (homog), potência da variância (vp) e correlação (corr) df: Graus de liberdade; $-\hat{\ell}_m$: Logaritmo da função de verossimilhança; AICc: Critério de informação de

Akaike corrigido; Δ : Diferença entre valores de Akaike em relação ao valor mínimo de possíveis soluções; w = Probabilidade do modelo e RE: Razão de evidência.

Os valores observados de distribuição das partículas fecais e os preditos pelos modelos escolhidos foram plotados em gráficos na Figura 1.

Figura 1. Distribuição das partículas fecais nos três modelos escolhidos.



Legenda: a1): Modelo Sweibull com 0,826 de probabilidade; a2): Zoom do item a1); b): Modelo Weibull com 0,094 de probabilidade; c): Modelo Weibull com 0,056 de probabilidade; **O**: valores preditos pelo modelo; **+**: valores observados; Eixo x: diâmetro da peneira em milímetros; Eixo y: Valor em gramas do material retido em cada peneira.

4.2. DIÂMETRO TEÓRICO MÉDIO

Dada a escolha dos modelos pelo AICc, o diâmetro teórico da partícula fecal foi calculado em cada um deles. Em seguida, por meio do recurso *Model Averaging*, que é a média ponderada usando as probabilidades de cada modelo e sua respectiva estimativa, obteve-se o diâmetro teórico médio das partículas fecais (Tabela 3).

O valor médio encontrado neste estudo pode ser aplicado a todas as espécies do experimento, pois o efeito de espécie foi suprimido pelo escalonamento da massa corporal.

Tabela 3. Probabilidade e estimativa do tamanho teórico da partícula fecal em cada um dos modelos selecionados pelo AICc e média ponderada.

Modelo	w'_j	X (mm)
Weibull	0,056	0,93
Sweibull	0,094	1,08
Sweibull	0,85	1,05
Média		1,05

w'_j : probabilidade; **X**: diâmetro em milímetros (mm).

5. DISCUSSÃO

5.1. AJUSTE DE MODELO

O ajuste de modelos aos dados é uma etapa essencial no desenvolvimento da pesquisa, pois fornece informações que apontam a melhor forma de interpretar os dados para uma determinada realidade. Segundo Burnham e Anderson (2004), em um contexto de seleção de modelo, deve-se assumir a existência de um conjunto de possíveis modelos capazes de se ajustar aos dados, em seguida, a inferência estatística deve ser baseada no modelo escolhido ou modelos escolhidos, após a realização de *model averaging*.

Nesta pesquisa, optou-se por usar o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) para escolha dos melhores modelos, pois é um estimador da distância relativa esperada entre as previsões do modelo e os dados que, por seu turno, representam a realidade concreta (KULLBACK; LEIBLER, 1951). A entropia, que é o grau de perda de informação devido ao uso de modelos matemáticos, e o princípio da parcimônia, que considera que nem sempre o modelo mais parametrizado é o melhor, são algumas das principais características da base teórica do AICc (BURNHAM; ANDERSON, 2004).

O ajuste dos modelos testados mostrou a tendência de que o modelo escalonado para a massa corporal, Sweibull, foi o que apresentou melhor aderência à realidade dos dados, o que indica forte ligação entre tamanho teórico médio da partícula fecal e massa corporal do animal. Jalali et al. (2015) também verificaram essa relação em um trabalho envolvendo diâmetro da partícula fecal em caprinos, ovinos, bovinos e lhamas. Esses autores observaram um aumento em partículas superiores a 1 mm nas fezes com o aumento da massa corporal.

Outra convergência do ajuste foi o efeito do tratamento sobre a proporção de partículas que escaparam do sistema. Provavelmente, os tratamentos com maiores proporções de partículas alimentares pequenas nas dietas, que foram aqueles com menores inclusões de fibra, resultaram em uma maior quantidade de partículas fecais com diâmetro próximo a 0,075 mm, o que pode ter facilitado a lixiviação das partículas para fora do conjunto de peneiras. Nessas dietas, a maior parte das partículas alimentares pequenas eram oriundas de alimentos concentrados e com alta digestibilidade. De acordo com Santoso et al. (2015), quanto maior a digestibilidade

de um alimento, maior a sua quebra em partículas menores. Logo a intensa cominuição pode ter ajudado a reduzir ainda mais o tamanho dessas partículas, culminando na maior probabilidade de escape do aparato de peneiramento.

O efeito aleatório de animal dentro de quadrado (efeito fixo), isto é, a espécie, também foi um parâmetro que mostrou influência sobre a partícula fecal conforme o AICc. O trabalho de Jalali et al. (2015) com quatro espécies de ruminantes, citado anteriormente, também evidenciou esse efeito. A razão disso é que as espécies apresentam diferentes comportamentos alimentares, padrões de ruminação, absorção de água, formação do bolo fecal e faixas de peso vivo, características que influenciam no comportamento da digesta no trato gastrintestinal do animal (MARTZ; BELYEA, 1986; HOFMANN, 1989; JALALI et al., 2015).

5.2. DIÂMETRO TEÓRICO MÉDIO

O conceito de tamanho crítico de partícula foi esclarecido por Poppi et al. (1980), ao estabelecerem que partículas com tamanho maior que 1,18 mm não são capazes de deixar o rúmen, pois encontram resistência. No presente estudo, foi encontrado um valor inferior relativamente próximo, 1,05 mm. Provavelmente essa desconformidade se dê em razão de algumas diferenças na realização dos experimentos, sendo necessário, entretanto, levar em conta a variabilidade da estimativa.

No trabalho supracitado foram usados apenas ovinos, enquanto, nesta pesquisa, usamos bovinos, ovinos e caprinos, porém suprimimos o efeito de espécie quando a distribuição de partículas foi escalonada à massa corporal. Além disso, os autores usaram gramíneas e leguminosas na alimentação dos animais. No presente trabalho, porém, a base da alimentação foi a silagem de milho, possivelmente menos rica em fibra, o que pode ter causado uma menor resistência de escape do rúmen. Segundo Schulze et al. (2014), essa relação entre o escape de partículas do rúmen e o teor de FDN da dieta é possível, já que foram observadas mudanças na distribuição de partículas fecais em bovinos, mudanças estas influenciadas pelo teor de FDN da dieta ofertada.

Apesar de não ter sido realizada nenhuma coleta de conteúdo abomasal, o diâmetro teórico médio da partícula fecal é um bom indicativo acerca do tamanho crítico de partícula que escapa do rúmen, pois, após deixar esta câmara pré-gástrica,

as partículas da digesta não passam por mudanças expressivas em suas dimensões (POPPI et al. 1980). Isso nos permite inferir que esta seja a dimensão mínima da partícula da dieta à base de silagem de milho, somada a outros fatores como densidade e teor de fibra (DUFRENEIX et al. 2019), necessários para que haja estímulo da ruminação.

O aumento da ingestão de matéria seca está associado à diminuição do tamanho das partículas dos alimentos que compõem a dieta, ou seja, quanto menor o tamanho de partículas, maior o consumo voluntário e consequente conversão de nutrientes em produto animal elaborado (DUFRENEIX et al., 2019; KONONOFF et al., 2003a).

Entretanto a proporção dessas partículas de tamanho igual ou menor ao crítico na dieta é outro fator que deve ser levado em consideração. O *Penn State Particle Separator* (PSPS) é um dispositivo compacto de peneiramento manual constituído de três peneiras, com poros medindo 19,0, 8,0 e 1,18 mm, e uma bandeja de fundo sólido. Esse dispositivo foi criado para ser uma ferramenta prática de uso em fazendas em que os rebanhos são alimentados com ração total misturada (TMR) ou silagem (KONONOFF et al., 2003b). O objetivo é fazer o peneiramento da dieta e verificar a proporção de partículas de alimentos retida em cada peneira. Heinrichs e Jones (2013) recomendam que menos de 40% para TMR e menos que 10% para silagem sejam acumuladas na bandeja abaixo da peneira de 1,18 mm, que é o tamanho crítico de partícula proposto por Poppi et al. (1980).

6. CONCLUSÃO

O modelo Weibull, aliado ao escalonamento para a massa corporal dos animais, mostrou boa qualidade de ajuste aos dados de distribuição de partículas fecais. Para bovinos, ovinos e caprinos alimentados à base de silagem de milho, o diâmetro teórico médio de partícula fecal é 1,05 mm. Esse é o tamanho mínimo da partícula alimentar nesta condição para o estímulo da ruminação. Contudo as análises das amostras da dieta, sobras e digesta podem gerar informações mais precisas e robustas acerca da fibra nos alimentos, da distribuição das partículas e de suas implicações no consumo voluntário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16th Ed., 4th Revision, AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg. 1998.
- BALCH, C. C. Factors Affecting the Utilization of Food by Dairy Cows: 1. The Rate of Passage of Food through the Digestive Tract. **British Journal of Nutrition**, v. 4, n. 4, p. 361-388, 1950.
- BOURGET, S. J.; KEMP, J. G. Wet sieving apparatus for stability analysis of soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 60-61, 1957.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological methods & research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011a.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. Erratum to: AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 415-415, 2011b.
- CARLTON, M. A., DEVORE, J. L. **Probability with applications in engineering, science, and technology**, Berlin: Springer, 2017.
- CHENG, K. J.; AKIN, D. E.; COSTERTON, J. W. Rumen bacteria: interaction with particulate dietary components and response to dietary variation. In: **Federation proceedings**, p. 193-197. 1977.
- COSTA, N. D. L.; MONTEIRO, A. L. G.; SILVA, A. L. P.; de MORAES, A.; GIOSTRI, A. F.; STIVARI, T. S. S.; PIN, E. A. Considerações sobre a degradação da fibra em forragens tropicais associada com suplementos energéticos ou nitrogenados. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, p. 31-41, 2013.

DUFRENEIX, F.; FAVERDIN, P.; PEYRAUD, J.-L. Influence of particle size and density on mean retention time in the rumen of dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 4, p. 3010-3022, 2019.

ENERGY, A. F. R. C. Protein Requirements of Ruminants. **An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford, UK: CAB International, 1993.**

FAICHNEY, G. J. The kinetics of particulate matter in the rumen. **Control of digestion and metabolism in ruminants**, p. 173-195, 1986.

FERNÁNDEZ, M. H.; VRBA, E. S. A complete estimate of the phylogenetic relationships in Ruminantia: a dated species-level supertree of the extant ruminants. **Biological reviews**, v. 80, n. 2, p. 269-302, 2005.

GIDENNE, T., GARREAU, H., DROUILHET, L., AUBERT, C., & MAERTENS, L.. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects. **Animal Feed Science and Technology**, v. 225, p. 109-122, 2017.

HALL, M. B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of animal science**, v. 81, n. 12, p. 3226-3232, 2003.

HEINRICHS, J.; JONES, C.M. **The Penn State Particle Separator**. DSE 2013– 186. Disponível em: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2021.

HERD, R. M.; ARCHER, J. A.; ARTHUR, P. F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **Journal of animal science**, v. 81, n. 13, p. 9-17, 2003.

HOFMANN, R. R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. **Oecologia**, v.78. p.443-457, 1989.

HUHTANEN, P.; AHVENJARVI, S.; WEISBJERG, M.R.; NØRGAARD, P. **Digestion and passage of carbohydrates**. In: Sejrsen, K., Hvelplund, T., Nielsen, M.O. (Eds.), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition in Gene*

Impression, Immunology and Stress. Wageningen Academic Publishers, p. 87–135, 2006.

HUHTANEN, P.; SVEINBJÖRNSSON, J. Evaluation of methods for estimating starch digestibility and digestion kinetics in ruminants. **Animal feed science and technology**, v. 130, n. 1-2, p. 95-113, 2006.

JALALI, A. R.; Weisbjerg, M. R.; Nadeau, E.; Randby, Å. T.; Rustas, B. O.; Eknæs, M.; Nørgaard, P. Effects of forage type, animal characteristics and feed intake on faecal particle size in goat, sheep, llama and cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 208, p. 53-65, 2015.

JARDIM, J. G.; VIEIRA, R. A. M.; FERNANDES, A. M.; ARAUJO, R. P.; GLÓRIA, L. S.; JÚNIOR, N. M. R.; ABREU, M. L. C. Application of a nonlinear optimization tool to balance diets with constant metabolizability. **Livestock Science**, v. 158, n. 1-3, p. 106-117, 2013.

JARDIM, J. G.; VIEIRA, R. A. M.; FERNANDES, A. M.; ARAUJO, R. P.; GLÓRIA, L. S.; JÚNIOR, N. M. R.; ABREU, M. L. C. Corrigendum to “Application of a nonlinear optimization tool to balance diets with constant metabolizability”[Livest. Sci. 158 (1–3)(2013) 106–117]. **Livestock Science**, v. 173, p. 119-120, 2015.

JÚNIOR, G. L.; ZANINE, A. M.; BORGES, I.; PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 17, n. 7, 2007.

KLEIN, J. L.; VIANA, A. F. P.; MARTINI, P. M.; ADAMS, S. M.; GUSATTO, C.; BONA, R. A.; BRONDANI, I. L. Desempenho produtivo de híbridos de milho para produção de silagem de planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas**, v. 17, p. 101-110, 2018.

KONONOFF, P. J.; A. J. HEINRICHS. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**. v. 86, p. 1445–1457, 2003.b

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 10, p. 3343-3353, 2003.a

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LECHNER-DOLL, M.; KASKE, M.; ENGELHARDT, W. V. Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. In: **Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants**. Academic Press, p. 455-482. 1991.

MARTZ, F. A.; BELYEA, R. L. Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. **Journal of dairy science**, v. 69, n. 7, p. 1996-2008, 1986.

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.

MERTENS, D. R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: **11th Florida Ruminant Nutrition Symposium**, 2000.

MERTENS, D. R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of animal science**, v. 64, n. 5, p. 1548-1558, 1987.

MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. **Forage quality, evaluation, and utilization**, n. foragequalityev, p. 450-493, 1994.

MERTENS, D. R.; STRAWN, T. L.; CARDOZA, R. S.; KENNEDY, P. M. Modeling ruminal particle size reduction: Its relationship to particle size description. **Techniques in Particle Size Analysis of Feed and Digesta in Ruminants**. PM Kennedy, ed. Can. Soc. Anim. Sci. Occas. Publ, n. 1, p. 134, 1984.

MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, Lavras. **Anais: UFLA-FAEPE**, p.25-36. 2001.

MÖLLER, J. Animal feeding stuff-Global Standard for the Determination of Acid Detergent Fibre (ADF) and Lignin. **Focus**, v. 32, n. 2, p. 22-24, 2008.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 772-807, 2001.

PEREIRA, J. C.; DE ALMEIDA, M. S.; DE QUEIROZ, A. C.; CECON, P. R.; BRAZ, S. P. Características Físicas da Digesta e Resistência de Partículas ao Escape do Rúmen-Retículo em Novilhos Mantidos em Pastagem Natural em Diferentes Estações do Ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 731-739, 2002.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M.; DEBROY, S.; SARKAR D. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. **R package version 3.1-130**. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>. 2017.

POPPI, D. P.; NORTON, B. W.; MINSON, D. J.; HENDRICKSEN, R. E. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v. 94, n. 2, p. 275-280, 1980.

REID, C. S. W. The progress of solid feed residues through the rumino-reticulum: the ins and outs of particles. **Ruminant physiology concepts and consequences**. Murdoch, University Western Australian, Nedlands, p. 79-84, 1984.

SANTOSO, S.A.B.; PUSPITASARI, G.; MUKTIANI, A.; SUNARSO, S.; PURNOMOADI, A. A Study on the Use of Fecal Characteristics for Feed Digestibility Determination in Goat. **Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture**, v. 40, n. 1, p. 59-67, 2015.

SCHULZE, A. K. S.; WEISBJERG, M. R.; NØRGAARD, P. Effects of feeding level and NDF content of grass-clover silages on chewing activity, fecal particle size and NDF digestibility in dairy heifers. **animal**, v. 8, n. 12, p. 1945-1954, 2014.

SILVA, M. R. H.; NEUMANN, M. Fibra efetiva e fibra fisicamente efetiva: conceitos e importância na nutrição de ruminantes. **FAZU em Revista**, n. 9, 2013.

SMITH, L. W.; WALDO, D. R. Method for sizing forage cell wall particles. **Journal of dairy science**, v. 52, n. 12, p. 2051-2053, 1969.

SUTHERLAND, T.M. Particle separation in the forestomachs of sheep. In: DOBSON, A.; DOBSON, M.J. (Eds.) **Aspects of digestive physiology in ruminants**. Ithaca: Ithaca Comstock Publishing Associates, .p.43-73, 1988.

UDEN, P.; VAN SOEST, P. J. The determination of digesta particle size in some herbivores. **Animal Feed Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 35-44, 1982.

ULYATT, M.J.; DELLOW, D.W.; JOHN, A. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. **Control of digestion and metabolism in ruminants**, p. 498-515, 1986.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2 Ed. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca. London. 476 p. 1994.

VIEIRA, R. A. M.; JÚNIOR, N. M. R.; ABREU, M. L. C.; DA SILVA, M. C.; DE OLIVEIRA J. G.; TEDESCHI L. O.; GLÓRIA, L. S. The transit of external markers throughout the ruminant digestive tract: 2. The estimation of fiber digestibility, ruminoreticular fill, and related biases. **Animal Feed Science and Technology**, p. 114420, 2020.

VIEIRA, R. A. M.; TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, v. 255, n. 4, p. 357-368, 2008.

WALZ, L. S.; ELLIS, W. C.; WHITE, T. W.; MATIS, J. H.; BATEMAN, H. G.; WILLIAMS, C. C.; GENTRY, L. R. Flow paths of plant tissue residues and digesta through gastrointestinal segments in Spanish goats and methodological considerations. **Journal of animal science**, v. 82, n. 2, p. 508-520, 2004.

WELCH, J. G. Rumination, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 4, p. 885-894, 1982.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 84, n. 10, p. 2203-2216, 2001.