



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE RUMINANTES**

**ÍNDICES FECAIS PARA ESTIMATIVA DE CONSUMO E DIGESTIBILIDADE EM
BOVINOS E OVINOS CONSUMINDO AZEVÉM ANUAL**

Dissertação de Mestrado

**Discente: Mariana Trindade Barreto
Orientador: Eduardo Bohrer de Azevedo**

**Uruguaiiana
2021**

MARIANA TRINDADE BARRETO

**ÍNDICES FECAIS PARA ESTIMATIVA DE CONSUMO E DIGESTIBILIDADE EM
BOVINOS E OVINOS CONSUMINDO AZEVÉM ANUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Eduardo Bohrer de Azevedo

Coorientador: Diego Bitencourt de David

Uruguaiana

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B273i Barreto, Mariana Trindade
índices fecais para estimativa de consumo e digestibilidade
em bovinos e ovinos consumindo azevém anual / Mariana Trindade
Barreto.
45 p.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL, 2021.
"Orientação: Eduardo Bohrer de Azevedo".

1. modelos. 2. parâmetros nutricionais. 3. proteína bruta
fecal. 4. ruminantes . I. Título.

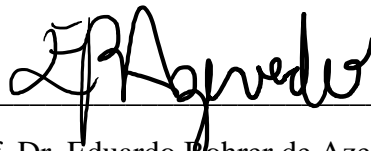
MARIANA TRINDADE BARRETO

**ÍNDICES FECAIS PARA ESTIMATIVA DE CONSUMO E DIGESTIBILIDADE EM
BOVINOS E OVINOS CONSUMINDO AZEVÉM ANUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência Animal.

Dissertação defendida e aprovada 23 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Eduardo Bohrer de Azevedo
Orientador
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA



Prof.^a. Dr. Gilberto Vilmar Kozloski
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM



Prof.^a. Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Uruguaiana

2021

Dedico esse trabalho a todas as mulheres do agronegócio e pesquisadoras brasileiras, por serem inspiração para mim e por tudo o que representam nesse país.

AGRADECIMENTOS

A DEUS a cima de qualquer coisa, pela minha vida, por iluminar meus caminhos e pela possibilidade infinita de crescimento, que se manifesta a cada instante em minha vida.

Expressar minha gratidão em palavras talvez não represente à plena e verdade dimensão dos meus sentimentos, ainda sim quero deixar meu profundo agradecimento às pessoas que foram fundamentais nessa caminhada.

Aos meus pais, Denise Trindade e Aguirre Barreto por sempre me incentivarem a estudar e através disso, oportunizar as minhas conquistas. À minha irmã, M^a Eduarda por sempre me apoiar com muito carinho e incentivar a seguir em frente. EU AMO VOCÊS!

Aos meus orientadores, Professor Dr. Eduardo Bohrer de Azevedo e Dr. Diego Bitencourt de David, não só pela oportunidade de realizar este trabalho, mas pelos exemplos profissionais. Por sempre incentivarem, apoiarem e me ensinarem tanto. Pela disponibilidade constante de ajuda e orientação deste trabalho.

Às minhas queridas colegas e amigas Danielle Comassetto e Renata Dornelles, não só por toda colaboração, mas por todos os momentos que passamos juntas longe de nossas casas para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos colegas Eduardo Faleiro e Rafael Machado, pela boa vontade e importante ajuda na execução do trabalho. À Carine e ao Maninho, por me receberam em todas as vezes que precisei.

À Gracélia (Grô) esposa do Diego, pela recepção, pelas conversas, conselhos, opiniões, atenção e amizade.

Ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) – Forrageiras em São Gabriel, estação à qual desenvolvi todos os períodos experimentais. Agradeço também ao seu Pereira por cuidar de mim como uma neta no tempo em que fiquei na estação.

À Universidade Federal do Pampa, onde tive a oportunidade de cursar o mestrado. Aos professores do Programa de Pós – Graduação em Ciência Animal, pelos ensinamentos durante o curso. Aos colegas que tive oportunidade de conhecer e que levarei comigo pra sempre.

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

Muito obrigada!

“Dedicar-se significa investir tempo naquilo que você quer e ama, nas áreas em que deseja alcançar excelência. A dedicação diz: eu vou seguir em frente, não importa o que aconteça”.

Gisele Bündchen

RESUMO

O objetivo foi avaliar o uso de modelos com dados mistos de bovinos e ovinos para estimativas, do consumo e digestibilidade, com base na proteína bruta fecal como indicador. Foram conduzidos cinco períodos experimentais com bovinos alojados em gaiolas de metabolismo, alimentados com forragem fresca de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), para avaliar a digestibilidade da matéria orgânica (DMO), consumo de matéria orgânica (CMO) e o consumo de proteína bruta (CPB), produção diária total de fezes e concentração da PB nas fezes. Os tratamentos foram constituídos em diferentes níveis de oferta (1,5, 2,25 kg de matéria seca/ 100 kg de peso vivo e *ad libitum*) com duas repetições em cada período. Também, utilizou-se um banco de dados de ovinos (107 dados) de ensaios em gaiolas de metabolismo, consumindo azevém anual, em níveis de oferta e estádios fenológicos. Modelos que descrevem a relação entre a PB fecal, DMO, CMO e CPB foram desenvolvidas, divididas por espécie e depois em conjunto, e ajustadas nos modelos de regressão, hiperbólico para a DMO, e linear para o CMO e CPB. Os dados estimados foram comparados com dados observados, considerando o efeito de espécie e avaliados pelo teste de paralelismo ao nível de 5% de probabilidade e a variabilidade avaliada pelo erro relativo de estimativa (ERE). Nos modelos mistos para DMO, CMO e CPB, verificou-se coeficientes de determinação de 0,72, 0,74 e 0,69 e erro relativo de estimativa de 6,4%, 14,5% e 15,2% respectivamente, e não se verificou efeito significativo de espécies. Os modelos individuais, na validação cruzada, apresentaram parâmetros que indicaram a viabilidade da aplicação dos modelos com dados mistos de bovinos e ovinos.

Palavras-chave: Modelos, parâmetros nutricionais, proteína bruta fecal, ruminantes

ABSTRACT

The objective was to evaluate the use of mixed models for intake and digestibility markers in cattle and sheep, based on crude fecal protein as a marker. Five experimental periods were conducted with cattle in metabolism cages, fed with fresh Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) forage, to evaluate the organic matter digestibility (OMD), organic matter intake (OMI), crude protein intake (CPI), total faecal output and faecal CP content. The treatments were constituted in different levels of supply (1.5, 2.25 kg of dry matter / 100 kg of live weight and ad libitum) with two repetitions in each period. Also, a sheep database (107 data) of tests in metabolism cages was used, consuming annual ryegrass, in supply levels and phenological stages. Models that describe the relationship between fecal CP, OMD, OMI and CPI were developed, divided by species and then together, and adjusted in the regression models, hyperbolic for OMD, and linear for OMI and CPI. The estimated data were compared with observed data, considering the species effect and evaluated by the parallelism test at the level of 5% probability and the variability assessed by the relative predictive error (RPE). In the mixed models for OMD, OMI and CPI, there were coefficients of determination of 0.72, 0.74 and 0.69 and relative error of prediction of 6.4%, 14.5% and 15.2% respectively, and there was no significant effect of species. The individual models, in the cross validation, presented parameters that indicated the viability of the application of the models with mixed data of cattle and sheep.

Keywords: Fecal crude protein, models, nutritional parameters, ruminants

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análise de regressão pelo modelo não linear hiperbólico único representando a relação entre a concentração de proteína bruta fecal e a digestibilidade da matéria orgânica. 32

Figura 2. Análise de regressão pelo modelo linear único representando a relação entre a concentração de proteína bruta fecal e a o consumo de matéria orgânica..... 33

Figura 3. Análise de regressão pelo modelo linear único representando a relação entre a concentração de proteína bruta fecal e a o consumo de proteína na dieta..... 38

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Equações de estimativa do consumo e digestibilidade de ruminantes em pastejo numa perspectiva histórica. 18
- Tabela 2.** Composição bromatológica e morfológica do azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) oferecido para bovinos em distintos períodos de avaliação e estádios fenológicos. 31
- Tabela 3.** Parâmetros nutricionais e proteína bruta fecal de bovinos alimentados com pastagem de azevém anual em experimento de ensaios em gaiolas de metabolismo. 31
- Tabela 4.** Modelos não lineares hiperbólicos da relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) e a concentração de proteína bruta fecal (PBf, g/kg de MO) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual e seus erros relativos e coeficientes de determinação. 32
- Tabela 5.** Modelos lineares da relação entre o consumo de matéria orgânica (CMO, g/kg PV) e a quantidade de proteína bruta fecal (PBf, g/kg de PV) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual e seus erros relativos e coeficientes de determinação. 33
- Tabela 6.** Modelos lineares da relação entre o consumo de proteína bruta (CPB, g/kg MO) e a concentração de proteína bruta fecal (PBf, g/kg de MO) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual e seus erros relativos e coeficientes de determinação. 34
- Tabela 7.** Efeito das equações das estimativas de DMO, CMO e CPB sobre as espécies bovinos e ovinos. 34

LISTA DE ABREVEATURAS

CIDA: cinza insolúvel em detergente ácido
CMO: consumo de matéria orgânica
CMS: consumo de matéria seca
CMS: consumo de matéria seca
Cr₂O₃: Dióxido de cromo
DMO: digestibilidade da matéria orgânica
EMP: erro médio de predição
ERE: erro relativo da estimativa
FDA: fibra em detergente ácido
FD Af: fibra em detergente ácido fecal
FD Ai: fibra em detergente ácido indigestível
FDN: fibra em detergente neutro
FD Ni: fibra em detergente neutro indigestível
LDA: lignina em detergente ácido
MO: matéria orgânica
MS: matéria seca
MSi: matéria seca indigestível
N: nitrogênio
NF: nitrogênio fecal
NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido
NIDN: nitrogênio insolúvel em detergente neutro
NT: Nitrogênio total
P: fósforo
PB: proteína bruta
PBf: proteína bruta fecal
PDR: proteína degradável no rúmen
PV: peso vivo (kg)
QMEE: quadrado médio do erro da estimativa
RQME: raiz quadrada média do erro
TiO₃: dióxido de titânio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Parâmetros nutricionais de ruminantes em pastejo.....	15
2.2. O uso da proteína bruta fecal como indicador das estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo	17
2.3. Uso de equações mistas em parâmetros nutricionais em pequenos e grandes ruminantes	21
3. HIPOTESE	22
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo Geral.....	22
4.2. Objetivos Específicos.....	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
6. CAPÍTULO I	27
6.1. Introdução	27
6.2. Materiais e métodos	28
6.2.1. Descrição da localidade e pastagem	28
6.2.2. Manejo dos animais e desenho experimental	28
6.2.3. Amostragem.....	29
6.2.4. Análises laboratoriais e cálculos.....	29
6.2.5. Dados de ovinos	29
6.2.6. Análise estatística	30
6.3. Resultados.....	30
6.3.1. Alimento ofertado.....	30
6.3.2. Digestibilidade da matéria orgânica	31
6.3.3. Consumo de matéria orgânica	33
6.3.4. Consumo de Proteína Bruta na Dieta	33
6.4. Discussão	35
6.5. Conclusão.....	40
6.6. Referências bibliográficas.....	40
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
8. ANEXO	45
8.1. Certificado de aprovação de protocolo para uso de animais em pesquisa	45

1. INTRODUÇÃO

Em várias regiões do mundo, a pecuária caracteriza-se pelo uso de pastagens como base da alimentação dos rebanhos. Assim, estudos nutricionais em pastagens são de suma importância, e os principais parâmetros a serem entendidos são relacionados ao valor nutricional do pasto oferecido (Reis & Silva, 2011). Logo, conhecer o consumo de nutrientes ambiente pastoril torna-se essencial, pois auxilia na avaliação do desempenho, bem como na tomada de decisão do manejo nutricional adequado (Garcia et al., 2011).

No entanto, a determinação de parâmetros nutricionais em pastejo apresenta uma série de implicações, e o uso de indicadores tornou-se uma valiosa ferramenta nesse sentido. Os indicadores permitem estimar parâmetros como produção fecal, digestibilidade e consumo (Gonçalves et al., 2019), e são divididos em externos e internos. Dentre os internos, a proteína bruta fecal é bastante utilizada, devido a fácil aplicabilidade e simples metodologia de análise (Savian et al., 2018). A técnica de utilização requer ensaios em condições controladas, para estabelecer relações entre o indicador, digestibilidade e o consumo, e gerar modelos das estimativas (Lancaster, 1947; Wang et al., 2009).

Os modelos de estimativas são utilizados com a espécie animal que será avaliada em situação de campo, pois o tipo de animal deve ser representativo da população à qual os resultados do estudo seriam aplicáveis ou recomendados. Alguns autores afirmam que a maioria dos dados experimentais obtidos para uma espécie ou categoria de animais não pode ser aplicada a outra (Hristov et al., 2019). Contudo, poucos estudos avaliaram a possibilidade de uso de modelos baseados na proteína bruta fecal em diferentes espécies animais, nas estimativas de consumo e digestibilidade (Schlecht et al., 2006).

O uso de modelos únicos mistos aplicáveis à diferentes espécies animais, traria vantagens para futuros estudos nutricionais, pois gerar novos modelos de estimativas com pequenos ruminantes, se tornaria economicamente mais viável, prático e ainda possibilita se trabalhar com um número maior de indivíduos, o que traria mais significância para detectar diferenças estatísticas para as características de interesse, além de facilitar os ensaios com grandes animais em pastejo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Parâmetros nutricionais de ruminantes em pastejo

O homem e os ruminantes dividem uma longa história de interação, com modernas formas de manejo, principalmente no aspecto nutricional. Com a evolução da nutrição, estudos sobre o consumo e a digestibilidade dos alimentos se tornaram indispensáveis, visto que o consumo é o principal fator determinante no desempenho animal, e a digestibilidade é umas das principais formas utilizadas para expressar o conteúdo de energia disponível dos alimentos (Reis & Silva, 2011).

O consumo e a digestibilidade podem ser obtidos de forma direta, o qual implica em rigoroso controle de alimento oferecido, sobras e excreção diária. Entretanto, determinar essas variáveis em situação de pastejo torna-se laborioso, devido à complexidade de mensurar com precisão o total ingerido pelos animais, além de diversos fatores associados ao animal, ao pasto, ao ambiente e suas interações (Poppi et al., 2000; Carvalho et al., 2007).

Portanto alguns métodos foram propostos para estimar o consumo em pastagens, como: a pesagem dos animais durante a alimentação, ou antes e depois do pastejo, mensuração da diferença de massa de forragem antes e depois do pastejo, avaliação pelo comportamento animal, e por intermédio da determinação da digestibilidade da matéria seca (Berchielli et al, 2011). No entanto, esses métodos apresentam limitações, podendo induzir a erros (Owens & Hanson 1992; Carvalho et al., 2007).

Assim como o consumo, determinar a digestibilidade de forma direta da forragem consumida em situação de pastejo é um dos maiores desafios. Metodologias aplicadas a partir de amostras de forragem são utilizadas através de ensaios *in vivo* (McDonald, et al., 2011), *in situ* (Mehrez & Orskov, 1979; Salman et al., 2010) e *in vitro* (Tilley et al., 1963; Santos et al., 2017; Campos et al., 2019). Contudo, os métodos recebem críticas, pois a acurácia das estimativas depende da representatividade da amostra analisada em relação à forragem consumida, além dos fatores relacionadas a prática sobre restrições éticas e legais ao seu uso (Carvalho et al., 2007).

Com as limitações das técnicas citadas, nos últimos anos as pesquisas direcionaram para avaliações de metodologias indiretas das estimativas de consumo e digestibilidade, baseadas na estimativa da produção fecal (Lippke, 2002; Cottle et al., 2013), assumindo o pressuposto de que a excreção fecal é inversamente proporcional a digestibilidade, mas diretamente proporcional a quantidade de alimento consumido (Penning et al., 1983). Assim o uso de substâncias denominadas como indicadores tem sido utilizada para estimar a excreção fecal, consumo e digestibilidade.

A técnica dos indicadores fecais é baseada no fato de que à medida que o alimento transita pelo trato gastrintestinal, a concentração do indicador aumenta progressivamente pela remoção de constituintes dos alimentos digeridos e absorvidos (Berchielli et al., 2011). Conhecendo a quantidade do indicador fornecido, é possível, a partir do percentual de indicador nas fezes, estimar a excreção fecal diária. Da mesma forma, conhecendo a excreção de um indicador, a partir dos dados de excreção fecal diária, pode-se estimar o consumo (Ferreira, 2009). Além disso, o uso dos indicadores traz como vantagem, não serem invasivos, já que não necessitam da utilização de cânulas reentrantes no trato digestivo, nem seu esvaziamento (Gonçalves et al., 2019).

Os indicadores são divididos em dois grupos, externos ou internos, onde indicadores externos são administrados aos animais por meio de cápsulas de gel, papel ou misturados juntamente com o alimento, como o óxido de cromo (Cr_2O_3) e dióxido de titânio (TiO_2). Os indicadores internos, são substâncias encontradas naturalmente nos alimentos, representados por frações indigestíveis, como a matéria seca indigestível (MSi), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a fibra em detergente ácido indigestível (FDAi), cinza insolúvel em detergente ácido (CIDA) e proteína bruta fecal (Pbf) (Cardoso et al., 2014). Os indicadores externos têm sido usados para estimar a produção fecal e marcadores internos para estimar a digestibilidade (Velásquez, et al., 2018). Um bom indicador deve ter características como: não ser absorvido pelo animal, recuperação completa, não ter efeito sobre o animal, ter características físicas semelhantes ao do conteúdo do trato digestivo, taxa de passagem semelhante ao alimento (Berchielli, et al., 2011).

O uso dos indicadores é uma alternativa vantajosa nas estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo, não existindo o melhor indicador (Gonçalves et al., 2019). No entanto, se compararmos os grupos, os indicadores internos possuem vantagens de não ter interferência no sistema digestivo e na população microbiana (Ítavo et al., 2002), são inertes e não tóxicos, não apresentam funções fisiológicas, não influenciam nas secreções intestinais, absorção ou motilidade, tem baixo custo (Piaggio et al., 1991), além de expressar o real processo de digestão dos animais em pastejo, já que permanece distribuído na digesta durante o processo de digestão e excreção (Carvalho, et al., 2007). Além disso, alguns estudos mostram a utilização da proteína bruta fecal como indicador viável das estimativas nutricionais, trazendo ainda mais vantagens ao uso dos indicadores internos, visto que sua metodologia de análise é rápida, simples e fácil.

2.2. O uso da proteína bruta fecal como indicador das estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo

O uso da PBf como indicador, se baseia na relação da concentração do constituinte químico fecal com a digestibilidade da matéria seca ou orgânica (Lancaster, 1949). Seu uso vem cada vez ganhando mais espaço nas estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo, pois além das vantagens de ser um indicador interno, a técnica é de fácil aplicabilidade, não requer amostras de alimentos e não impõe maiores restrições aos animais (Lukas et al., 2005). Também é de simples metodologia de análise, dependendo apenas de equipamentos e técnicas comumente disponíveis na maioria dos laboratórios que realizam teste de qualidade de forragem (Azevedo et al., 2014).

Para estimar a digestibilidade do alimento ingerido, a técnica da PBf é fundamentada na redução da quantidade de matéria orgânica e no aumento da proteína endógena excretada nas fezes à medida que a digestibilidade da matéria orgânica aumenta (Lukas et al., 2005). Portanto quando a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) da dieta é reduzida, a concentração de proteína endógena na matéria orgânica fecal também é diluída. Essas variações permitem estimar de forma indireta a digestibilidade do alimento.

Na literatura, diversos estudos são encontrados a respeito da utilização do conteúdo proteico das fezes na estimativa da DMO, com diferentes espécies animais e forrageiras (Boval et al., 2003; Wang et al., 2009; Schiborra et al., 2010; Peripolli et al., 2011; Azevedo et al., 2014 e David et al., 2014). Todos estudos comprovaram a acurácia dessa metodologia, apresentando, no entanto, modelos diferentes para as estimativas. Além disso, na maioria das pesquisas, a relação desse indicador com a digestibilidade não é linear.

Estudos utilizando a PBf como indicador de digestibilidade em bovinos, alimentados com *Dichanthium* sp., comprovaram a acurácia da metodologia, constatando que os modelos hiperbólicos são os mais confiáveis, tanto na avaliação dos animais em gaiolas de metabolismo, quanto na validação com animais em pastejo (Boval et al., 1996a). Em outro estudo da PBf como indicador da digestibilidade em bovinos, feito por Rosa et al. (não publicado), com pastagens nativas do Bioma pampa (Brasil), constataram que o modelo desenvolvido para digestibilidade (Tabela 1), foi eficiente, e que a PBf é bom indicador da qualidade nutricional de dietas, mesmo em situações com ampla diversidade de espécies e de valores nutricionais.

Tabela 1. Modelos de estimativa do consumo e digestibilidade de ruminantes por meio de índices fecais numa perspectiva histórica.

	Fonte	Modelos	Espécie
DMO	Boval (2003)	$0,8161 * 1,9864 / \text{PBF}$	Caprinos
	Lukas et al. (2005)	$79,76 - 107,7 \exp(-0,01515 * \text{PBF})$	Bovinos
	Wang et al. (2009)	$0,899 - 0,644 \exp(-0,5577 \text{PBF}/100)$	Bovinos
	Peripolli et al. (2011)	$0,7326 - 0,3598 \exp(-0,9058 \text{PBF}/100)$	Ovinos
	Azevedo et al. (2014)	$1,11581 - 23,4416 / \text{PBF} - 0,000590151 * \text{FDAf}$	Ovinos
	David et al. (2014)	$1,29325 - 98,2962 / \text{PBF} - 0,000239755 * \text{FDNf}$	Ovinos
	da Rosa et al. (NP*)	$0,942 - 38,619 / \text{PBF}$	Bovinos
CMO	Boval et al. (1996)	$2,327 + 12,59 * \text{NF}$	Bovinos
	Peripolli et al. (2011)	$216,17 + 11,09 * \text{NF}$	Ovinos
	Kozloski et al. (2014)	$356 + 55,4 * \text{NF}$	Ovinos
	Kozloski et al. (2018)	$1,1 \pm 0,75 + (101 \pm 0,5,9 * \text{NF})$	Ovinos/Bovinos
CPB	Raymond (1948)	$0,795 + 0,14 * \text{NF}$	Ovinos
	Holechek et al. (1982)	$-0262 + 0,815 * \text{NF}$	Bovinos
	da Rosa et al. (NP*)	$1,346 * \text{PBF} - 47,63$	Bovinos

NP*(não publicado), CMO = consumo de matéria orgânica, DMO = digestibilidade da matéria orgânica, CPB = consumo de proteína bruta, NF = nitrogênio fecal, PBF= proteína bruta fecal, FDAf = fibra em detergente ácido fecal, FDNf = fibra em detergente neutro fecal.

Estudos realizados com 721 dados individuais de experimentos com ovinos em gaiolas de metabolismo com nove tipos de dieta de diferentes forrageiras da região da Mongólia (Wang, et al., 2009). Constatou-se que um modelo misto para estimativa da digestibilidade, pelo conteúdo de PBF, pode ser utilizado para estimar a digestibilidade de ovinos em pastejo. O modelo gerado permitiu estimar a digestibilidade de diferentes forragens da região da Mongólia com adequada precisão de 0,071 do erro médio preditivo.

Em outra pesquisa com ovinos, avaliando a PBF para estimar a digestibilidade da dieta, sobre áreas de vegetação nativa da região da Mongólia (Schiborra et al., 2010), utilizando os modelos propostos por Wang et al., (2009), verificou-se que a PBF pode ser utilizada para estimativas nutricionais em ambientes heterogêneos com grande diversidade de espécies. Peripolli et al. (2011), também avaliando o modelo de Wang et al. (2009) com ovinos, obtiveram resultados satisfatórios compilando dados de diferentes forrageiras da região sul do Brasil. Encontrando respostas positivas, com erro médio da estimativa de 0,0238, concluindo que o modelo geral pode estimar a digestibilidade das forragens estudadas.

Também trabalhando com ovinos, Azevedo et al. (2014) avaliaram a PBF como indicador da digestibilidade de pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam). Obtiveram relações significativas, e concluíram que o modelo hiperbólico múltiplo é o mais preciso para estimar a digestibilidade da forrageira estudada. Resposta semelhante foi descrita por David et

al. (2014), trabalhando com ovinos em pastagem de milheto (*Pennisetum americanum* L. Leeke), em que verificaram que o modelo hiperbólico foi eficiente para estimar a digestibilidade da pastagem avaliada.

Estudo mais recente com ovinos, avaliando o teor da matéria orgânica digestível de pastagem nativa do bioma pampa (Brasil), a partir da quantidade de N excretado nas fezes e por meio de incubação *in situ* no rúmen (Gindri et al, 2019). Os autores observaram que os valores estimados a partir do N excretado nas fezes foram, em média, menores do que os encontrados no método *in situ*, mas que apesar da diferença, a abordagem do nitrogênio fecal apresenta vantagens relevantes sobre os métodos convencionais, podendo ser utilizada.

Na estimativa de consumo de alimento diário por meio da Pbf é assumido o pressuposto de que a excreção de proteína é diretamente proporcional à excreção de matéria seca fecal, e, portanto, a excreção fecal de proteína é diretamente proporcional ao consumo de um determinado alimento, no entanto é necessário ter a quantidade de diária de PB nas fezes (Peripolli et al., 2011). Assim modelos de regressão são criadas em função da concentração da Pbf, para estimar indiretamente o consumo de matéria orgânica (Holechek et al., 1982).

Em relação ao uso da proteína como indicador nas estimativas de consumo, estudos feitos com bovinos consumindo *Dichanthium* spp (Boval et al., 1996b; 2000; 2002), constataram que o conteúdo de nitrogênio fecal (NF) foi o melhor indicador para estimar o consumo dos animais, estabelecendo uma relação linear positiva com boa acurácia (soma dos quadrados dos desvios = 240g). Esse método também permitiu estimativa dos valores individuais de consumo em pastejo, que foram consistentes com o ganho médio diário medido simultaneamente com novilhas em pastejo e onde a qualidade da forragem era variável em cada experimento.

Estudos sobre o consumo de ovinos, em pastoreio rotacionado, foram realizados comparando diferentes metodologias de estimativas (diferença de forragem no pré e pós pastejo contra técnicas de estimativa pela coleta total de fezes e digestibilidade *in vitro*; coleta total de fezes e digestibilidade estimado por indicadores (proteína bruta fecal e n-alcanos)) (Ferri et al., 2008). Os autores observaram, uma boa correlação ($R = 0,83$; $P < 0,01$) com a coleta total de fezes e estimativa da digestibilidade, tanto *in vitro* quanto via Pbf.

Outro estudo com ovinos e diversas forragens utilizadas em experimentos no sul do Brasil (Peripolli et al., 2011) encontraram relação linear entre o CMO e a excreção fecal de nitrogênio, em um conjunto de dados de 58 experimentos com diferentes forrageiras. Os dados foram também separadamente analisados em função da digestibilidade, tipo de forragem e ciclo

de produção, resultando em menor variação e maior precisão dos modelos na maioria dos grupos.

Azevedo et al. (2014) também trabalhando com ovinos, estabeleceu relações entre o conteúdo químico das fezes e o consumo, em diferentes estádios fenológicos de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), e verificou potencial da PBf em estimar o consumo de forragem. No entanto, recomenda que os modelos sejam separados por estágio fenológico da planta, e que é importante estabelecer a condição fenológica da pastagem a ser aplicada ao modelo para estimar o consumo.

Estudos para estimar o consumo de ovinos em forragens tropicais, subtropicais com ou sem suplementos com a abordagem do nitrogênio fecal (NF), foram realizados por Kozloski et al. (2014). Os autores observaram relação linear entre o consumo e a excreção de NF, constatando que o modelo gerado é adequado para estimar o CMO de ovinos alimentados com forragem com ou sem suplementos a partir da quantidade de nitrogênio excretado nas fezes.

Em estudo comparativo de indicadores, na estimativa do consumo de matéria seca (CMS) de ovinos em pastagem de azevém (Savian et al., 2018) foi constatado que os indicadores PBf e n-alcanos tem potencial para estimar com precisão o CMS dos animais. No entanto em relação os modelos avaliados com a PBf, relatou que as propostas por Azevedo et al. (2014) são as mais precisas para determinar o CMS de ovinos em pastagem de azevém do que os modelos propostos por Wang et al. (2009) e Peripolli et al. (2011).

A PBf também pode ser utilizada como indicador para estimar o consumo de proteína bruta (CPB) na dieta. Estudo realizado por Raymod (1948) verificou relação linear entre o teor de proteína bruta na dieta (g/kg de MO) e o teor de proteína fecal (g/kg MO). Relatos também são encontrados nos estudos feitos por Holechek et al. (1982) e Lyon e Stuth (1992). No entanto poucos estudos se encontram sobre sua utilização. A aplicabilidade dessa relação é essencial para a tomada de decisão na nutrição de pastagem, considerando que o CPB pode parametrizar, por exemplo, o momento apropriado para iniciar uma suplementação para atender às necessidades nutricionais proteicas.

Em um estudo recentemente avaliando os índices fecais, como preditores de CMS, CPB e fósforo (P) de ovinos em pastagens anuais mediterrâneas (Orellana et al., 2020), evidenciou se que a proteína fecal, pode ser usada como preditora do CMS, PB e P sob sistemas de pastejo extensivo em pastagens anuais mediterrâneas, com um nível adequado de precisão. Em pastagens heterogêneas do sul do Brasil (Rosa et al., não publicado), se obteve relação linear entre PBf e o CPB. Constatando que o modelo gerado pode estimar o CPB da dieta, em pastagens heterogêneas.

2.3. Uso de modelos mistas em parâmetros nutricionais em pequenos e grandes ruminantes

Dentro da área de produção animal de ruminantes, os estudos nutricionais exercem importante papel, pois possibilitam fornecer informações a respeito dos alimentos utilizados nas dietas desses animais, bem como prever a maneira como a estrutura dos alimentos irá afetar o desempenho dos mesmos (Canesin et al., 2012). Atualmente, as pesquisas têm buscado relacionar o conteúdo de nutrientes dos alimentos com seu aproveitamento digestivo e metabólico, logo o estabelecimento de metodologias apropriadas para obtenção de respostas é essencial para que o sucesso na pesquisa seja atingido (Berchielli et al., 2011).

Estudos nutricionais em ruminantes em pastejo são mais complexos do que em animais confinados, o que exige maior discernimento na escolha das técnicas a serem utilizadas e determina o sucesso e credibilidade dos dados (Berchielli et al., 2011). Na determinação do consumo e digestibilidade de animais em pastejo, a técnica de indicador com a Pbf, desenvolvido por Lancaster (1949) tem sido amplamente utilizada (Savian et al., 2018). Na técnica, ensaios de digestibilidade são conduzidos para gerar modelos que relacionam a concentração de Pbf com a DMO e o CMO (Holechek et al., 1982; Peripolli et al., 2011). Os modelos podem então estimar a DMO e o CMO dos alimentos ingeridos por animais em pastejo através da concentração de Pbf.

No uso desse método, é recomendado que os modelos de estimativas, sejam derivadas da mesma espécie forrageira e animal que será avaliada em situação de pastejo (Hristov et al., 2019), tornando-o trabalhoso e complexo para grandes ruminantes. Ensaios de digestibilidade com grandes ruminantes requer grandes quantidades de alimento, grandes estruturas, exigindo muita mão de obra o que se torna custoso. No entanto, pode ser viabilizado usando pequenos ruminantes para gerar modelos de estimativas (Thomas & Campling, 1976).

Para viabilizar o uso de pequenos ruminantes para gerar modelos de estimativas dos grandes animais, estudos comparativos entre as espécies animais, da relação entre a DMO e o CMO do alimento e a concentração de Pbf são fundamentais, porém poucos dados são encontrados na literatura. Estudos feitos por Thomas & Campling (1976) comparando a digestibilidade, consumo voluntário e concentração de PB na matéria orgânica fecal em ovino e bovinos, não encontraram diferença significativa entre as espécies nos modelos de regressão relacionando a DMO com concentração de Pbf.

Outro estudo, avaliando a aplicabilidade do modelo de regressão proposto por Lukas et al. (2005) a várias dietas de alimentos volumosos consumidas por bovinos, ovinos e caprinos em ensaios de digestibilidade e em pastejo livre (Schlecht et al., 2006), constataram que, embora

apenas dados de bovinos tenham sido usados para o desenvolvimento do modelo, obtiveram respostas satisfatórias na aplicabilidade geral a dados obtidos de ovinos e caprinos.

Estudo mais recente, avaliando o CMO de bovinos e ovinos em pastejo, a partir da quantidade de N excretado nas fezes, constataram que o modelo proposto pode ser utilizado em ambas as espécies animais, apresentando uma raiz quadra média do erro (RQME) de 2,06, (Kozloski et al., 2018).

Contudo, mesmo com poucos estudos, evidenciam-se dados que mostram a possibilidade de uso de modelos mistos, trazendo praticidade e economia aos estudos nutricionais, além de assumir grande importância considerando também as atuais normas de uso de animais em pesquisa.

3. HIPOTESE

Os modelos gerados, com base na proteína bruta fecal como indicador, para estimativas nutricionais de animais em pastejo consumindo azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), podem ser usadas de forma unificada para ovinos e bovinos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar se modelos de estimativas nutricionais em pastejo, com base na proteína bruta fecal podem ser usadas em conjunto entre ovinos e bovinos.

4.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver modelos de estimativas nutricionais, utilizando a proteína bruta fecal como indicador, em bovinos consumindo pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.).
- Comparar os modelos gerados para bovinos, com modelos existentes na literatura para ovinos, com o mesmo indicador e espécie forrageira em estudo.
- Desenvolver modelos de estimativas nutricionais em pastejo, de uso comum para bovinos e ovinos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, E. B.; POLI, C. H. E. C.; DAVID, D. B.; AMARAL, G. A.; FONSECA, L.; CARVALHO, P. C. F.; FISCHER V.; MORRIS, S. T. Use of faecal components as markers to estimate intake and digestibility of grazing sheep. **Livestock Science**, v. 165, p. 42-50, 2014.
- BERCHIELLI, T. T.; GARCIA, A. V. de.; OLIVEIRA, S. G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 2ª edição. Jaboticabal: Funep, p. 397-418, 2011.
- BOVAL, M.; ARCHIMEDE, H.; FLEURY, J.; XANDE, A. The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical forage. **Journal of Agricultural Science**, v. 140, p. 443–450, 2003.
- BOVAL, M.; CRUZ, P.; LEDET, J. E.; COPPRY, O.; ARCHIMEDE, A. Effect of nitrogen on intake and digestibility of a tropical grass grazed by Creole heifers. **Journal of Agricultural Science**, v. 138, p. 73–84, 2002.
- BOVAL, M.; CRUZ, P.; PEYRAUD, J. L.; PENNING, P. The effect of herbage allowance effect on daily intake by Creole heifers tethered on natural *Dichanthium* spp. pasture. **Grass and Forage Science**, v. 55, p. 201– 208, 2000.
- BOVAL, M.; PEYRAUD, J. L.; XANDE, A. Effect of nocturnal enclosing and splitting offered area on herbage intake of tethered Creole heifers. **Annales de Zootechnie**, v. 45, p. 219–231, 1996b.
- BOVAL, M.; PEYRAUD, J. L.; XANDE, A., AUMONT, G.; COPPRY, O.; SAMINADIN, G. Evaluation of faecal indicators to predict digestibility and voluntary intake of *Dichanthium* spp. by cattle. **Annales de Zootechnie**, v. 45, p. 121-134, 1996a.
- CAMPOS, F. C.; ABDALLA FILHO, A. L.; CORRÊA, P. S.; NAZATO, C.; MONNERAT, R. G., McMANUS, C. M.; TSAI, S. M.; ABDALLA, A. L.; LOUVANDINI, H. Rumen degradability and gas production as influenced by diferente strains of *Bacillus thuringiensis*. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 99, n. 4, p. 951-954, 2019.
- CANESIN, R. C.; FIORENTINI, G.; BERCHIELLI, T. T. Inovações e desafios na avaliação de alimentos na nutrição de ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 938-953, 2012.
- CARDOSO, E. S.; JÚNIOR, H. A. S.; SANTANA, E. O. C.; FERREIRA, A. H. C.; MACIEL, M. S.; OLIVEIRA, Z. F.; FIGUEIREDO, C. B.; BRITO, J. M. Avanços no estudo de consumo em bovinos a pasto. **Revista Nutritime**, v. 11, p. 3648-3659, 2014.
- CARVALHO, P. C. F.; KOZLOSKI, G. V.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; REFFATTI, M. V.; GENRO, C. M.; EUCLIDES, V. P. B. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 51-170, 2007.
- COTTLE, D. J. The trials and tribulations of estimating the pasture intake of grazing animals. **Animal Production Science**, v. 53, n. 11, p. 1209-1220, 2013.

DAVID, D. B.; POLI, C. H. E. C.; SAVIAN, J. V.; AMARAL, G. A.; AZEVEDO, E. B.; CARVALHO, P.C.F.; PIMENTEL, C. M. M., Faecal index to estimate intake and digestibility in grazing sheep. **Journal Agriculture Science**, v. 152, p. 667-674, 2014.

FERREIRA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; NASCIMENTO, F. B.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: estimativa de consumos de concentrado e de silagem de milho por vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1574-1580, 2009.

FERRI, C. M.; STRIZLER, N. P.; BRIZUELA, M. A.; PAGELLA, H. J. Comparison of four techniques to estimate forage intake by rams grazing on a *Panicum coloratum* L. pasture. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 68, n. 3, p. 248-256, 2008.

GARCIA, C. S.; FERNANDES, A. M.; FONTES, C. A. A.; VIEIRA, R. A. M.; SANT'ANA, N. F.; PIMENTEL, V. P. Desempenho de novilhos mantidos em pastagens de capim-elefante e capim-mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 403-410, 2011.

GINDRI, M.; ZILIO, E. M. C.; GUTERRES, A. S.; GINDRI, R. G.; CAMPOS, F. S.; BOMFIM, M. A. D.; GALVANI, D. B.; KOZLOSKI, G. V. Comparison of methods to estimate crude protein and digestible organic matter content of diets ingested by free-ranging sheep. **Small Ruminant Research**, v. 178, p. 37-42, 2019.

GONÇALVES, J. L.; SANTOS, S. F.; SOUSA, R. T.; FERNANDES, A. M. F. Uso de marcadores para avaliação do consumo em ruminantes. **Nutritime**, v. 16, n. 4, p. 8508-8524, 2019.

HOLECHEK, J. L.; VAVRA, M.; ARTHUN, D. Relationship between performance, intake, diet nutritive quality, and fecal nutritive quality of cattle on mountain range. **Journal of Range Management**, v. 35, n. 6, p. 741-744, 1982.

HRISTOV, A. N.; BANNINK, A.; CROMPTON, L. A.; HUNTANEN, P.; KREUZER, M.; McGEE, M.; NOZIERE, P.; REYNOLDS, C. K.; BAYAT, A. R.; YÁÑEZ-RUIZ, D. R.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; SCHWARM, A.; SHINGFIELD, K. J.; YU, Z. Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 7, p. 5811-5852, 2019.

ÍTAVO, L. C. V.; GARES FILHO, S. C.; SILVA, F. F.; VALADARES, R. F. D.; PAULINO, M. F.; ÍTAVO, C. C. B. F.; MORAES, E. H. B. K. Comparação de indicadores e metodologia de coleta para estimativas de produção fecal e fluxo de digesta em ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1833-1839, 2002.

KOSLOSKI, G. V.; ZILIO, E. M.; ONGARATO, F.; KUINCHTNER, B. C. Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 3, p. 443-449, 2018.

KOZLOSKI, G. V.; OLIVEIRA, L.; POLI, C. H. E. C.; AZEVEDO, E. B.; DAVID, D. B.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; COLLET, S. G. J. Faecal nitrogen excretion as an approach to estimate forage intake of wethers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 98, p. 659-666, 2014.

LANCASTER, R.J. Estimation of digestibility of grazed pasture from faeces nitrogen. **Nature**, v. 163, p. 330-331, 1949.

LANCASTER, R.J. The nutritive status of New Zealand pastures. **Proceedings of the New Zealand Society Animal Production**, v. 7, p. 125-127, 1947.

LIPPKE, H. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. **Crop Science**, v. 42, p. 869-872, 2002.

LYONS, R.K.; J.W. STUTH. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal of Range Management**, v. 45, n. 3, p. 238-244, 1992.

LUKAS, M.; SÜDEKUM, K. H.; RAVE, G.; FRIEDEL, K.; SUSENBETH, A. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. **Journal Animal Science**, v. 83, p. 1332–1344, 2005.

McDONALD, P; EDWARDS, R. A; GREENHALGH, J.F. D.; MORGAN, C. A.; SINCLAIR, L. A.; WIKINSON, R. G. **Animal nutrition**. 7. Ed Harlow, England: Prentice Hall/Pearson, 2011.

MEHREZ, A. Z.; ØRSKOV, E. R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v. 88, p. 645, 1977.

ORELLANA, C.; VÍCTOR HUGO PARRAGUEZ, V. H.; ARANA, W.; ESCANILLA, J.; ZAVALETA, C.; CASTELLARO, G. Use of Fecal Indices as a Non-Invasive Tool for Nutritional Evaluation in extensive-Grazing Sheep. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 46-59, 2020.

ORSKOV, E.R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubations measurements weighted according to the rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.

OWENS, F. N; HANSON, C. F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 2605, 1992.

PENNING, P. D.; JOHNSON, R. H. The use of internal markets to estimate herbage digestibility and intake: 1. Potentially indigestible cellulose and acid insoluble ash. **The Journal of Agricultural Science**, v. 100, n. 1, p. 127, 1983.

PERIPOLLI, V.; PRATES, E. R.; BARCELLOS, J. O. J.; NETO, J. B. Faecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, p. 170–173, 2011.

PIAGGIO, L.M.; PRATES, E.R.; PIRES, F.F.; OSPINA, F. Avaliação das cinzas insolúveis em ácido, fibra detergente ácido indigestível e lignina em detergente ácido indigestível como indicadores internos da digestibilidade. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 306-312, 1991.

POPPI, D. P.; FRANCE, J.; MCLENNAN, S. R. Intake, Passage and Digestibility. In: THEODOROU, M. K.; FRANCE, J. **Feeding systems and feed evaluation models**. New York: CABI, p. 35-52, 2000.

REIS, R. A.; SILVA, A. C. da. Consumo de forragens. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de. (2Ed.) **Nutrição de Ruminantes**. 2ª edição. Jaboticabal: Funep, p.79-103, 2011.

SALMAN, A. K. D.; FERREIRA, A. C. D.; SOARES, J. P. G.; SOUZA, J.P. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Doc 136, ISSN 0103-9865, 2010.

SANTOS, K. C; MAGALHÃES, A. L. R; SILVA, D. K. A; ARAÚJO, G.G.L.; FAGUNDES, G. M.; YBARRA, N. G.; ABDALLA, A.L. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Smiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118-124, 2017.

SAVIAN, J. V; GENRO, T. C. M.; NETO, A. B.; BREM, C.; AZEVEDO, E. B.; DAVID, D. B., GONDA, H. L.; CARVALHO, P. C. F. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 242, p. 144–149, 2018.

SCHIBORRA, A.; GIERUS, M.; WAN, H. W.; GLINDEMANN, T.; WANG, C. J.; SUSENBETH, A.; TAUBE, F. Dietary selection of sheep grazing the semiarid grasslands of Inner Mongolia, China at different grazing intensities. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 94, p. 446-454, 2010.

SCHLECHT, E.; SUSENBETH, A. Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude, protein concentration of cattle and small ruminants. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 90, p. 369–379, 2006.

THOMAS, S.; CAMPLING, C., Relationship between digestibility and faecal nitrogen in sheep and cows offered herbage *ad libitum*. **Journal of British Grassland Society**, v.31, p. 69–72, 1976.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two stages technique for the “in vitro” digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VELÁSQUEZ, A. V.; SILVA, G. G.; SOUSA, D. O.; OLIVEIRA, D. O.; MARTINS, C. M. M. R.; SANTOS, P. P. M.; BALIEIRO, J. C. C.; RENNÓ, F. P.; FUKUSHIMA, R. S. Evaluating internal and external markers versus fecal sampling procedure interactions when estimating intake in dairy cows consuming a corn silage-based diet. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 1-12, 2018.

WANG, C. J.; TAS, B. M.; GLINDEMANN, T.; RAVE, G.; SCHMIDT, L.; WEIßBACH, F.; SUSENBETH, A. Faecal crude protein content as an estimate for the digestibility of forage in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, p. 199–208, 2009.

6. CAPITULO I

ÍNDICES FECAIS PARA ESTIMATIVA DE CONSUMO E DIGESTIBILIDADE EM BOVINOS E OVINOS CONSUMINDO AZEVÉM ANUAL

6.1. Introdução

Em várias regiões do mundo, a pecuária caracteriza-se pelo uso de pastagens como base da alimentação dos rebanhos e o um dos componentes de maior importância no desempenho desses ruminantes é a ingestão e aproveitamento dos nutrientes (Beck & Gregorini, 2020). No entanto, tem-se dificuldade em quantificar, de forma prática e direta, o consumo e a digestibilidade em pastagens (Poppi et al., 2000), o que limita estudos sobre o potencial de utilização de uma forragem, principalmente sobre seus aspectos nutricionais nas distintas situações encontradas no seu ciclo produtivo em ambiente pastoril.

A dificuldade de mensurar de forma direta a ingestão de nutrientes dos ruminantes, acarreta no uso de várias técnicas para estima-la (Poppi et al., 2000; Carvalho, 2007). A maioria concentra-se na medição ou estimativa da produção fecal e digestibilidade, com o uso de indicadores externos ou internos. Dentre os indicadores internos, a proteína bruta fecal destaca-se devido a sua aplicabilidade e simples metodologia de análise (Savian et al., 2018).

A técnica da proteína bruta fecal requer ensaios em condições controladas, para estabelecer as relações entre o indicador, a digestibilidade e o consumo (Wang, et al., 2009; Peripolli, et al., 2011). Os modelos desenvolvidos, são feitos com a mesma espécie animal que será avaliado a campo, pois alguns autores consideram que o tipo de animal deve ser representativo da população à qual os resultados do estudo seriam aplicáveis ou recomendados (Penning, 2004; Hristov et al., 2019).

Entretanto poucos estudos avaliaram a possibilidade de utilização de modelos que abranjam mais de uma espécie de ruminantes (Schlecht et al., 2006; Kozloski et al., 2018). A obtenção de modelos que englobem diferentes espécies, como bovinos e ovinos, traria grandes vantagens aos estudos nutricionais, uma vez que a utilização de um modelo biológico de mais fácil manejo (ovinos, por exemplo) possibilitaria trabalhar com maior número de animais. Assim, favoreceria a ampliação de estudos de nutrição de ruminantes em pastejo, além de ser menos oneroso.

Portanto, a hipótese do presente trabalho foi que modelos com base na proteína bruta fecal para as estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo consumindo azevém com dados unificados de bovinos e ovinos, possam ser usadas em ambas as espécies. Assim o objetivo do

presente trabalho foi de avaliar se modelos de estimativas nutricionais em pastejo, com base na proteína bruta fecal podem ser usadas em conjunto entre ovinos e bovinos.

6.2. Materiais e métodos

Os cuidados com os animais seguiram as regras e diretrizes dos protocolos de manejo de campo experimental da Comissão de Ética no uso de Animais CEUA-IPVDF e aprovados em seus aspectos éticos e metodológicos, sob o número de protocolo nº 09/2019.

6.2.1. Descrição da localidade e pastagem

O experimento foi conduzido nos anos 2019 e 2020 na Estação Experimental Anacreonte Ávila de Araújo, unidade de pesquisas forrageiras do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR) no município de São Gabriel, RS, Brasil (30°20'19''S; 54°15'02''W; 125 m acima do nível do mar), com temperatura média anual de 19° C, com temperatura média mensal, variando de uma alta de 24°C de dezembro a fevereiro, abaixo de 14°C de junho a agosto; a precipitação média anual foi de 1503 mm. A forrageira utilizada foi o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), cultivar São Gabriel.

6.2.2. Manejo dos animais e desenho experimental

Foram realizados cinco períodos experimentais de agosto a novembro nos anos de 2019 e 2020, com 12 bovinos machos da raça Braford. No primeiro ano (2019) se conduziu os períodos 1, 2 e 3 sob um delineamento experimental quadrado latino duplo, utilizando 6 animais (2 animais por tratamento) com idade média de 12 meses e peso corporal médio inicial de 180±20 kg. No segundo ano (2020) conduziu-se os períodos 4 e 5, sob um delineamento experimental inteiramente casualizado, com duas repetições, utilizado 6 animais com idade média de 12 meses e peso corporal média de 185±31 kg. Os tratamentos experimentais de cada período corresponderam a três níveis de oferta de forragem (1,5% do peso vivo de matéria seca (1,5 PV), 2,25% do peso vivo de matéria seca (2,25% PV) e *ad libitum*, com 20% de sobras). Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo e alimentados com forragem de azevém duas vezes ao dia (07h00 e 17h00). A forragem foi obtida diariamente durante o período da tarde, colhendo aproximadamente 10 cm acima do nível do solo com o intuito de simular o material que seria apreendido pelos animais. Os animais tiveram livre acesso à água durante o período experimental. Cada fase do experimento incluiu um período de adaptação ao tratamento de 10 dias e um período de coletas de cinco dias, além disso antes de iniciar o período de adaptação os animais permaneciam em pastagens de azevém por pelo menos 10 dias.

6.2.3. Amostragem

Durante o período de coletas (5 dias), o alimento ofertado e sobras foram pesados e registrados para calcular o consumo de matéria seca (MS) dos animais experimentais. Sacos coletores de fezes foram utilizados nos animais e duas vezes ao dia (06h00 e 16h00) a produção total de fezes era coletada e pesada diariamente. Posteriormente 100g de forragem (do ofertado e sobras) e 10% do peso total das fezes foram amostradas, secas em estufa a 55°C por 72h, moídas em moinho tipo *Wiley* em peneira de 1mm, agrupadas por animal e armazenadas para posteriores análises químicas e separação morfológica.

6.2.4. Análises laboratoriais e cálculos

Amostras do oferecido, sobras e fezes foram secas em estufa a 105° C até atingirem o peso constante para o cálculo da MS (AOAC, 1990). A matéria orgânica (MO) foi calculada descontando o conteúdo de cinzas (AOAC, 1990). O teor de N total foi medido pelo método Kjeldahl e a Proteína Bruta (PB) foi calculada como $N \times 6,25$ (AOAC, 1990). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) foram determinados conforme descrito por Van Soest et al. (1991) e a lignina em detergente ácido (LDA) conforme o protocolo descrito por Goering e Van Soest (1970). O nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram determinados de acordo com Licitra et al. (1996).

A digestibilidade da matéria orgânica foi calculada utilizando a seguinte fórmula: $DMO = [(MO \text{ ingerida (g/dia)} - MO \text{ excretada (g/dia)}) / (MO \text{ ingerida (g/dia)})] \times 100$. O consumo de matéria orgânica foi calculado como $CMO \text{ (g/dia)} = MO \text{ oferecida (g/dia)} - MO \text{ sobras (g/dia)}$, o consumo por g/kg do peso vivo (CMO_{PV}), foi calculado dividindo o CMO pelo peso corporal do animal. O consumo de proteína bruta (CPB, g/kg MO) foi calculado como a razão entre a ingestão diária de PB (g/d) e o CMO, multiplicado por 1000. A quantidade de PBf (g/dia) foi calculada pelas fezes excretadas diariamente multiplicado pelo seu teor PB (% de MS) e então convertida para a base do peso vivo (PBf_{PV} , g/kg PV) dividindo o valor pelo peso vivo em kg. O teor de cPBf (g/kg MO) é a razão da quantidade de PBf (g/dia) por kg fecal de MO excretada diariamente multiplicado por 1000.

6.2.5. Dados de ovinos

Foi utilizado um banco de informações (107 dados) sobre a DMO, CMO e PBf, a partir de experimentos em gaiolas de metabolismo com ovinos machos (raça Texel, com idade média de 12 meses e peso corporal médio de $34 \pm 5,04$ kg), alimentados com forragem de azevém

fresca, em diferentes estádios fenológicos da cultura e sob níveis de oferta (Azevedo et al., 2014).

6.2.6. *Análise estatística*

Foram estabelecidos modelos entre os parâmetros nutricionais DMO, CMO_{PV} e CPB e a PBf (conteúdo PBf (cPBf) expresso em g/kg MO nos modelos de DMO e CPB e PBf_{PV} expresso em g/kg PV no modelo de CMO_{PV}) observados nos experimentos. Aplicou-se o modelo hiperbólico ($a + b / x$) para DMO e linear ($a + b * x$) para o CMO_{PV} e CPB. Os valores de PBf observados foram utilizados nos modelos para obter valores estimados de DMO, CMO_{PV} e CPB. Os dados estimados foram comparados com os dados observados de DMO, CMO_{PV} e CPB. A variabilidade da distância média entre os valores estimados e observados foram avaliados pelo erro relativo de estimativa (ERE) de acordo com Fuentes-Pila et al. (1996).

Para avaliar as espécies animais, foram gerados modelos mistos da DMO, CMO_{PV} e CPB agrupando os dados de bovinos e ovinos. Os valores de cPBf e PBf_{PV} observados foram utilizados nos modelos para obter os valores estimados de DMO, CMO_{PV} e CPB, os quais foram comparados, calculando a variabilidade média da distância entre o valor estimado e o valor observado pelo ERE. Além disso, foram gerados modelos da DMO, CMO_{PV} e CPB individuais para cada espécie animal, e aplicadas de forma cruzada. Os valores de cPBf e PBf_{PV} de bovinos observados foram utilizados nos modelos de ovinos e os valores de cPBf e PBf_{PV} de ovinos observados foram utilizados nos modelos de bovinos, para obter valores estimados da DMO, CMO_{PV} e CPB. A variabilidade da distância média entre os valores estimados e observados foram avaliados pelo ERE.

Os modelos gerados foram avaliados ($P < 0,05$) com relação aos efeitos espécie animal, para avaliação de paralelismo. A acurácia dos modelos de DMO, CMO_{PV} e CPB foram avaliadas pelo erro relativo da estimativa (ERE) definindo relações entre a raiz quadrada positiva do QMEE e a média dos valores observados, sendo expresso em porcentagem (Fuentes-Pila et al., 2003). Além disso, o efeito significativo dos modelos, foi estudada pelo teste de média, e as diferenças foram consideradas significativas ao nível de 0,05. O pacote estatístico utilizado foi o SAS versão 9.4 (SAS Institute INC., Cary, NC, USA).

6.3. Resultados

6.3.1. *Alimento ofertado*

A forragem oferecida aos animais variou ao longo dos períodos, onde a PB diminuiu e a FDN aumentou do estágio vegetativo para o florescimento (Tabela 2). A participação de

folhas diminuiu e a inflorescência aumentou à medida que a planta atingiu seu estágio reprodutivo.

Tabela 2. Composição bromatológica e morfológica do azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) oferecido para bovinos em distintos períodos de avaliação e estádios fenológicos.

Parâmetros	Períodos				
	1°	2°	3°	4°	5°
Estádio fenológico	vegetativo	pré-florescimento	florescimento	vegetativo	pré-florescimento
Matéria seca (%)	20,25	22,22	36,17	22,33	28,35
PB (% MS)	17,58	15,10	9,90	19,30	16,75
Cinzas (% MS)	9,35	8,02	7,86	10,38	8,57
FDN (% MS)	44,32	59,71	73,19	46,44	58,56
FDA (% MS)	26,60	36,10	45,73	33,64	42,02
LDA (% MS)	2,62	4,07	6,98	6,14	7,57
NIDN (% NT)	21,50	19,58	35,21	25,86	21,26
NIDA (% NT)	15,94	12,87	26,45	19,99	14,17
Folhas (%)	91	33	5	88	45
Colmo (%)	9	50	58	12	43
Inflorescência (%)	0	17	37	0	12

PB = proteína bruta; % MS = porcentagem da matéria seca; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; LDA = lignina em detergente ácido; NIDN = nitrogênio insolúvel em detergente neutro; NIDA = nitrogênio insolúvel em detergente ácido; % NT = porcentagem do nitrogênio total.

6.3.2. Parâmetros nutricionais

Não houve variação significativa ($P > 0,05$) entre os níveis de oferta da forragem utilizada (Tabela 3) nos parâmetros: DMO; CMO_{PV}, (g/kg PV); cPBd, (g/kg MO); cPBf, (g/kg MO); PFMO, (kg de MO/dia); PFMS, (kg de MO/dia). O CMO e a PB fecal apresentaram variações ($P < 0,05$) nos parâmetros avaliados CMO, (g/dia); PBf, (g/dia); PBf_{PV}, (g/kg PV).

Tabela 3. Parâmetros nutricionais e proteína bruta fecal de bovinos alimentados com pastagem de azevém anual em experimento de ensaios em gaiolas de metabolismo.

Parâmetros	Média	Variação	EPM	Nível de oferta <i>P</i>
DMO	0,709	0,537 - 0,836	0,014	0,9607
CMO (g/dia)	3146	1773 - 5319	176	0,0278
CMO _{PV} (g/kg PV)	18,5	9,1 - 32,4	1,03	0,0509
cPBd (g/kg MO)	174,8	108,6 - 216,8	6,4	0,9860
PBf (g/dia)	137,8	77,5 - 219,1	7,4	0,0188
PBf _{PV} (g/kg PV)	0,808	0,388 - 1,558	0,044	0,0284
cPBf (g/kg MO)	159,6	108,4 - 237,8	6,2	0,9177
PF _{MO} (kg de MO/dia)	0,850	0,813-0,879	0,004	0,8368
PF _{MS} (kg de MO/dia)	0,921	0,841-0,962	0,005	0,2992

EPM = erro padrão da média; DMO = digestibilidade da matéria orgânica; CMO = consumo de matéria orgânica; PV = peso vivo; MO = matéria orgânica; MS matéria seca; cPBd= conteúdo de proteína bruta da dieta; PBf = proteína bruta fecal; cPBf = conteúdo de proteína bruta fecal; PF= Produção fecal.

6.3.3. Digestibilidade da matéria orgânica

Os modelos de estimativas da digestibilidade de matéria orgânica a partir da proteína bruta fecal foram desenvolvidas de acordo com um modelo hiperbólico. Os modelos foram significativos ($P < 0,05$), e apresentando bons coeficientes de determinação e erros relativos de menores que 10% (Tabela 3). O modelo misto mais especificamente apresentou R^2 de 0,72 e ERE de 6,4% (Figura 1). Com o objetivo de validar o modelo misto para bovinos e ovinos, os modelos individuais, foram aplicados de maneira inversa aos bancos de dados de cada espécie, de forma a obter-se uma validação cruzada dos modelos, e ambas apresentaram um ERE menor que 10%.

Tabela 4. Modelos não lineares hiperbólicos da relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) e o conteúdo de proteína bruta fecal (cPBf, g/kg de MO) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual.

Espécie	Constante	Coefficiente Angular	N	R^2	D.P	ERE%
Bovinos	1,0249	-48,1290	30	0,76	0,03	5,2
Ovinos	1,0158	-39,4004	107	0,77	0,04	5,9
Misto	1,0044	-39,5224	137	0,72	0,04	6,4
Probabilidade*	0,1592	0,7084				
Validação cruzada dos modelos						
Modelo de bovinos aplicada em ovinos			107			9,4
Modelo de ovinos aplicada em bovinos			30			8,7

R^2 = coeficiente de determinação; D.P = desvio padrão; ERE = erro relativo da estimativa; cPBf em g/kg MO; n = número de dados; *= comparação da constante e do coeficiente angular de bovinos e ovinos.

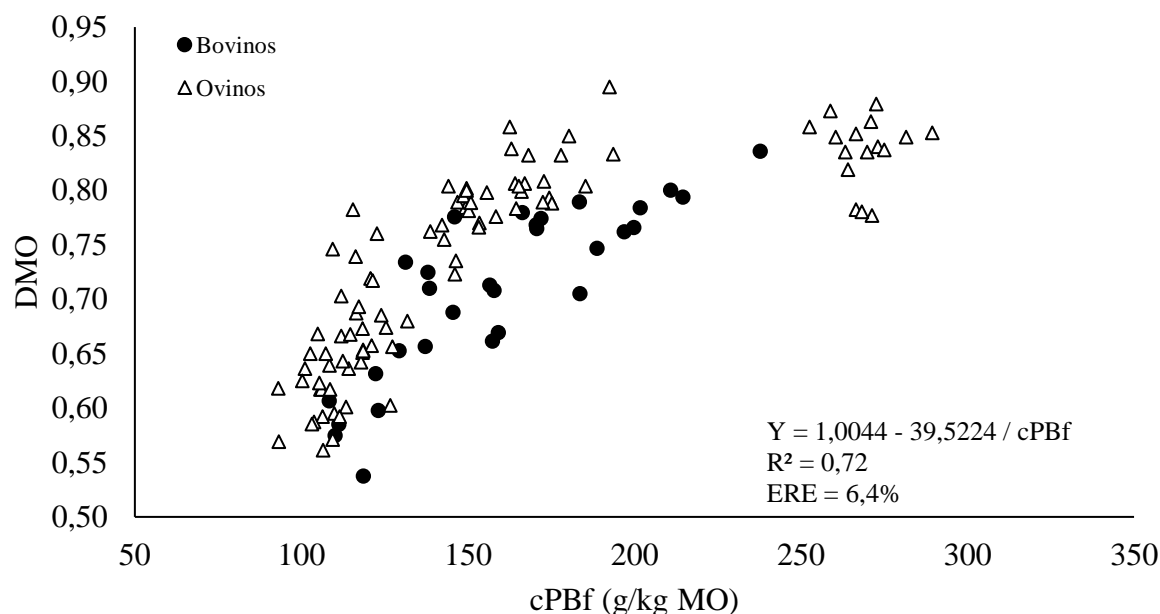


Figura 1. Análise de regressão pelo modelo não linear hiperbólico representando a relação entre o conteúdo de proteína bruta fecal (cPBf) e a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em ovinos e bovinos alimentados com azevém anual.

6.3.4. Consumo de matéria orgânica

A relação do consumo de matéria orgânica e a PBf_{PV} , foi linear ($P < 0,05$) para todos os modelos avaliados, sendo as relações descritas pelos modelos (Tabela 4), o modelo misto apresentou um $R^2 = 0,74$ superior e um ERE menor que 15% (Figura 2). Avaliando os modelos individuais de maneira inversa aos bancos de dados de cada espécie, de forma a obter-se uma validação cruzada, ambas apresentaram um ERE menos que 20%.

Tabela 5. Modelos lineares da relação entre o consumo de matéria orgânica (CMO_{PV} , g/kg PV) e a quantidade de proteína bruta fecal (PBf_{PV} , g/kg de PV) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual

Espécie	Constante	Coefficiente Angular	n	R ²	D.P	ERE %
Bovinos	1,9084	20,5050	30	0,78	2,68	14,0
Ovinos	5,2332	15,6214	107	0,74	2,41	14,1
Misto	4,6058	16,6201	137	0,74	2,51	14,4
Probabilidade*	0,1935	0,1175				
Validação cruzada dos modelos						
Modelo de bovinos aplicada em ovinos			107			16,1
Modelo de ovinos aplicada em bovinos			30			15,7

R² = coeficiente de determinação; D.P = desvio padrão; ERE = erro relativo da estimativa; PBf_{PV} em g/kg PV; n = número de dados; * = comparação da constante e do coeficiente angular de bovinos e ovinos.

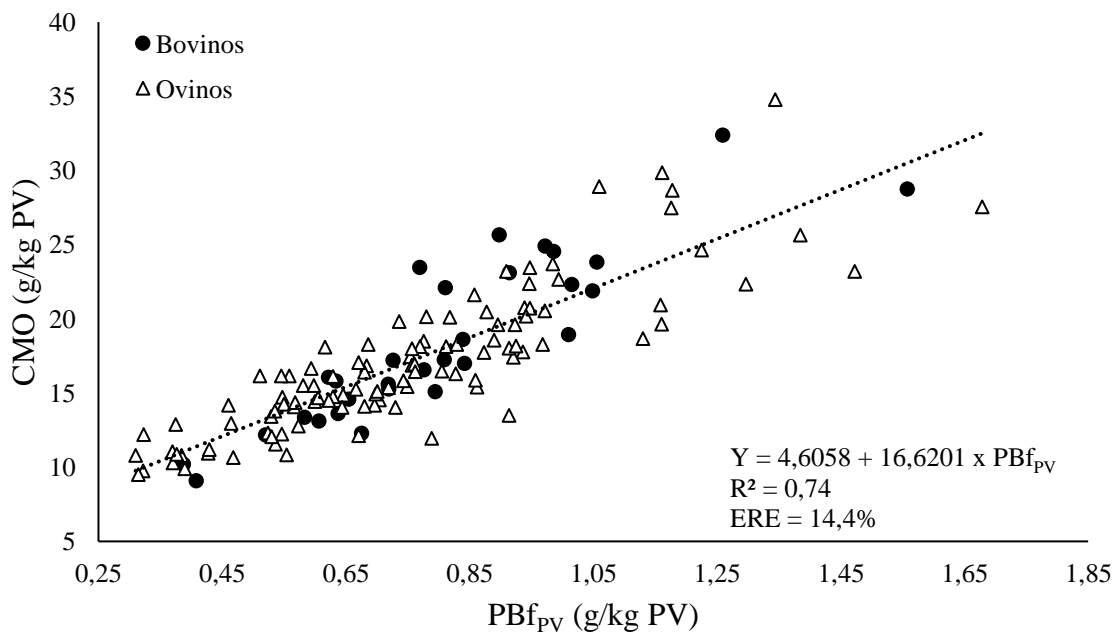


Figura 2. Análise de regressão pelo modelo linear representando a relação entre a concentração de proteína bruta fecal (PBf_{PV}) e a o consumo de matéria orgânica (CMO_{PV}) em ovinos e bovinos alimentados com azevém anual.

6.3.5. Consumo de Proteína Bruta na Dieta

A PBf e foi linearmente ($P < 0,05$) relacionada ao consumo de proteína bruta na dieta, e os modelos apresentaram ERE menos que 20 (Tabela 5). O modelo misto apresentou R^2 de 0,69 e ERE de 15,1% (Figura 3). Os modelos individuais aplicados de maneira inversa aos bancos de dados de cada espécie também apresentaram ERE menor que 20.

Tabela 6. Modelos lineares da relação entre o consumo de proteína bruta (CPB, g/kg MO) e o conteúdo de proteína bruta fecal (cPBf, g/kg de MO) de bovinos e ovinos consumindo azevém anual

Espécie	Constante	Coefficiente Angular	n	R^2	D.P	ERE%
Bovinos	48,8256	0,7890	30	0,58	29,9	12,7
Ovinos	72,4645	0,7813	107	0,72	23,0	14,6
Mista	65,7912	0,7920	137	0,69	30,0	15,1
Probabilidade*	0,3752	0,9622				
Validação cruzada dos modelos						
Modelo de bovinos aplicada em ovinos			107			18,3
Modelo de ovinos aplicada em bovinos			30			18,1

R^2 = coeficiente de determinação; D.P = desvio padrão; ERE = erro relativo da estimativa; cPBf em g/kg MO; n = número de dados; * = comparação da constante e do coeficiente angular de bovinos e ovinos.

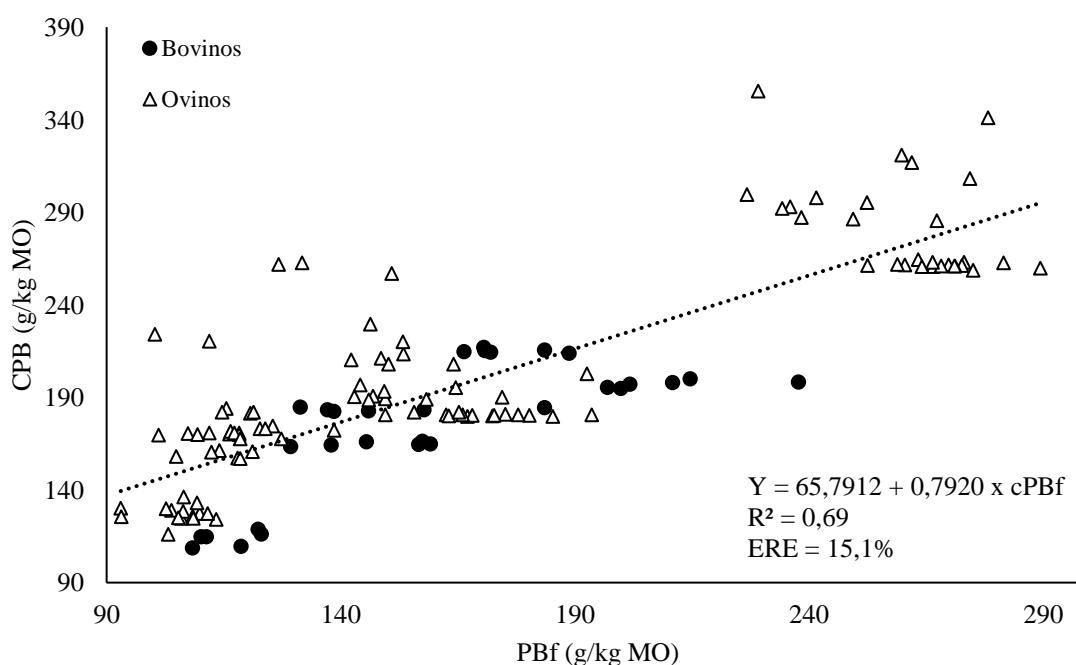


Figura 3. Análise de regressão pelo modelo linear representando a relação entre o conteúdo de proteína bruta fecal (cPBf) e a o consumo de proteína bruta na dieta (CPB) em ovinos e bovinos alimentados com azevém anual.

6.3.6. Análise dos modelos preditivos

Foi realizado um teste de médias, para verificação do efeito dos modelos (bovinos, ovinos e mista) nos parâmetros estudados (DMO, CMO_{PV} e CPB), espécie animal (bovinos e ovinos), estágio fenológico da forrageira (vegetativo, pré-florescimento e florescimento) e

períodos. Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os modelos e as espécies animais dos parâmetros avaliados e não houve efeito de espécie no uso dos diferentes modelos. A avaliação comparativa entre dos modelos mostrou um $P > 0,05$ para os efeitos de período e estágio fenológico da forrageira

Tabela 7. Dados médios estimados de DMO, CMO e CPB por meio de proteína bruta fecal em bovinos e ovinos consumindo azevém anual.

Parâmetros	Espécie	Modelos			Probabilidades		
		Bovinos	Ovinos	Mista	Modelos	Espécie	Mod*Esp
DMO	Bovinos	0,7096	0,7576	0,7454	<0,0001	0,1868	0,1713
	Ovinos	0,6840	0,7367	0,7244			
CMO _{PV} , g/kg PV	Bovinos	18,48	17,86	18,04	<0,0001	0,3010	0,3414
	Ovinos	17,34	16,11	17,11			
CPB, g/kg MO	Bovinos	174,76	197,17	192,21	<0,0001	0,4775	0,6027
	Ovinos	181,37	203,71	198,84			

DMO = digestibilidade da matéria orgânica (g/kg de MO), CMO_{PV} = consumo de matéria orgânica (g/kg do PV), CPB = consumo de proteína bruta (g/kg de MO), Mod*Esp = interação entre modelos e espécies.

6.4. Discussão

Os modelos preditivos da DMO gerados, a partir do conteúdo de proteína bruta fecal, apresentaram resultados satisfatórios nas estimativas, com coeficientes de determinação maiores que 0,70 e ERE inferiores a 10%. O uso PBf como indicador para estimativas nutricionais em pastejo, foram publicados por Lancaster (1947) e Raymond (1948), e desde então vem sendo utilizado como um método alternativo a simulação do pastejo. O método é baseado no pressuposto em que a excreção de N endógeno fecal é constante e independe da excreção fecal de matéria seca, logo a concentração de N fecal é diretamente proporcional à digestibilidade dos alimentos (Lukas et al, 2005). A excreção de nitrogênio fecal (NF, %MO) é em sua maior parte de origem endógena (representado por bactérias e descamações) e microbiana, onde as bactérias contribuem com aproximadamente 85% do N total presente nas fezes (Van Soest, 1994).

Modelos entre a relação da DMO e a cPBf foram descritos com sucesso por Azevedo et al. (2014), David et al. (2014), Peripolli et al. (2011), e são considerados confiáveis para estimativas de digestibilidade. Os modelos citados, foram construídos a partir de uma espécie de ruminante e utilizados para estimar a DMO da mesma espécie em que o modelo foi gerado, e apresentaram resultados satisfatórios nas estimativas. No presente estudo, o objetivo foi testar a utilização da técnica da PBf em modelos preditivos em que a espécie animal não fosse incluída como efeito no modelo. Poucos estudos relatam essa possibilidade (Schlecht et al., 2006;

Kozloski et al., 2018), portando desenvolveu-se um modelo único (para bovinos e ovinos) e modelos específicos (para cada espécie) para estimar a DMO. Alguns autores criticam a utilização de modelos únicos nas estimativas nutricionais, pois acreditam que o efeito de o animal pode ser um limitante, devido as diferenças entre as espécies na atividade mastigatória e nas respostas digestivas (Boever et al., 1990; Coates et al., 2000; Aguerre et al., 2013). Os ajustes dos modelos foram determinados pelo erro relativo de estimativa (ERE), definindo relações entre a raiz quadrada positiva do quadrado médio do erro de estimativa (QMEE) e a média dos valores observados, que segundo Fuentes-Pila et al. (1996) valor de ERE inferior a 10% é uma indicação de estimativa muito boa, entre 10% e 20% indica previsões relativamente boas ou aceitáveis, e superior a 20% indica previsões insatisfatórias.

O modelo misto de DMO apresentou valor de ERE de 6,4%, valor este considerado satisfatório para estimativas geradas pelo modelo, e um R^2 de 0,72. Esses valores se assemelham do modelo (1,01557 - 39,6067 / cPbf), descrito por Azevedo et al. (2014) para ovinos em pastagem de azevém, o qual obteve um ERE de 5,87 e um R^2 de 0,77. Além disso, também foi possível observar uma boa relação nas estimativas de DMO (ERE inferiores a 10%), quando se testou os modelos específicos de forma cruzada (modelos de bovinos aplicadas para estimativas de ovinos e vice versa). Os resultados corroboram com os estudos feitos por Schlecht e Susenbeth (2006), que avaliando a aplicabilidade do modelo de digestibilidade propostas por Lukas et al. (2005) a várias dietas, e observaram que embora apenas dados de bovinos tenham sido usados para o desenvolvimento do modelo, sua utilização foi válida para estimar a DMO de ovinos e caprinos.

Também se observou um nível de significância de 0,05 na inclinação das curvas dos modelos, não havendo evidências estatísticas para se rejeitar a hipótese de que as inclinações das curvas sejam iguais ou seja, as espécies animais, os períodos e os estádios fenológicos da cultura apresentavam mesma sensibilidade nos diferentes meios estudados. No teste de médias não houve diferença significativa do modelo misto dos modelos específicos, ficando evidente a possibilidade de se utilizar um modelo único de predição da DMO, a partir da proteína bruta fecal como indicador, nas duas espécies de ruminantes. Apesar das espécies apresentarem algumas diferenças capacidade digestiva, a viabilidade da técnica pode estar relacionada com o comportamento semelhante do fluxo proteico estomacal, composto por proteína dietética não degradada, da proteína de origem microbiana e da proteína endógena, oriunda da descamação do epitélio e de secreções naturais do trato gastrointestinal (Berchielli et al., 2011), nas duas espécies.

A eficiência dos sistemas de produção animal depende diretamente do consumo de alimentos e de seu aproveitamento por parte do animal (Alves et al., 2016), logo conhecer a composição química dos alimentos e sua digestibilidade é fundamental para a formulação de dietas que possibilitem maximizar a eficiência alimentar (Campos et al., 2010). A determinação de parâmetros nutricionais de ruminantes em situação de pastejo apresenta uma série de desafios, assim, modelos preditivos baseados em índices fecais como a PB, apresentam um caminho nas estimativas da DMO (Gonçalves et al., 2019), e modelos mistos (para diferentes espécies animais), tendem a facilitar esses caminhos, principalmente na criação de modelos preditivos para espécies forrageiras ainda não foram estudadas.

O conhecimento do consumo de forragem é um fator determinante para a obtenção de melhores resultados no desempenho animal, além de também ajudar na avaliação da eficiência energética e nutricional do animal em pastejo, permitindo a seleção de cada animal, de acordo com seu potencial genético (Rombach et al., 2019). No entanto, a estimativa de consumo de matéria seca de forragem e a eficiência de seu uso para o ganho de peso vivo, sempre foi difícil de medir em condições de campo (Cottle, 2013) e o uso indicadores para modelos preditivos como a PBf vem sendo utilizados para determinar de forma indireta o consumo (Savian et al., 2018). No presente estudo, os modelos gerados, para estimar o CMO, apresentaram valores satisfatórios, com ERE menores que 20% e coeficientes de determinação maiores que 0,70. A técnica da PBf como indicador do consumo, baseia-se que a excreção de N fecal é diretamente proporcional a excreção de matéria orgânica fecal, assim a excreção de N fecal seria diretamente proporcional ao consumo de um determinado alimento (Peripolli et al., 2011). Vários estudos relatam a alta correlação entre o CMO e a excreção de PBf, e modelos preditivos com forragem específicas, forragem suplementadas com alimentos concentrados ou forragem heterogêneas foram descritos por Azevedo et al. (2014), David et al. (2014), Kozloski et al. (2014) e Kozloski et al. (2018). No entanto, como citado nos modelos para digestibilidade, a maioria dos modelos de CMO são construídos apenas para uma espécie animal em estudo, considerado um efeito variável nos modelos.

No presente estudo a suposição de se ter um modelo misto do CMO_{PV} , para ambas espécies animais (bovinos e ovinos), foi satisfatória. O modelo gerado apresentou um ERE de 14,4%, ficando na faixa considerada boa ou aceitável, e um R^2 de 0,74. Também avaliado modelos específicos aplicados de forma inversa a cada espécie (modelo de bovinos em ovinos e vice versa), ambos apresentando um ERE menor que 20%, ficando numa faixa boa ou aceitável de predição. A inclinação das curvas apresentou um nível de significância de 0,05, o teste de média teve diferença significativa do modelo misto dos modelos específicos.

Os resultados encontrados no modelo misto se parecem ao do modelo ($356 + 55,4 \cdot \text{NF}$) descrito por Kozloski et al. (2014), para ovinos em pastagens tropicais, que obteve um R^2 0,76, e corroboram com o estudo feito por Kozloski et al. (2018), que obteve uma relação satisfatória entre CMO e nitrogênio fecal em um experimento com ruminantes alimentados com pastagens nativas gerando um modelo linear. A relação foi estabelecida na base de gramas/peso corporal por dia, pois o modelo foi avaliado em duas espécies ruminantes (ovinos e bovinos). Obtiveram uma RQME relativamente baixa (2,06), evidenciando a técnica de proteína fecal como um preditor de ingestão de pastagens e que os dados de ovinos e bovinos poderiam ser usados em um modelo único.

Determinar o consumo de proteína de ruminantes em pastejo é bastante útil em uma tomada de decisão nutricional, pois pode indicar, por exemplo, o momento adequado de iniciar uma suplementação para atendimento das exigências nutricionais em proteína, visto que o conteúdo de proteína de uma pastagem varia conforme espécie forrageira, seu estágio fenológico, estação, manejo (Azambuja et al., 2020). Raymond (1948) encontrou uma relação linear entre o teor de proteína bruta na dieta (CPB, g/kg MO) e o conteúdo de proteína bruta fecal (cPBf, g/kg MO), e resultados semelhantes foram relatados mais tarde por Holechek et al. (1982) e Lyon e Stuth (1992). O nitrogênio excretado nas fezes vem de diferentes fontes (exógenos e endógenos) e está relacionado à proteína dietética. Além disso forragens com altos níveis de energia digestível e proteína geram altas taxas de fermentação; portanto, a ingestão de forragens de alta qualidade resulta em altos valores de nitrogênio fecal através do aumento da fermentação (Pino et al., 2018).

Assim a relação entre a concentração de proteína nas fezes e a concentração de proteína na dieta também foi traçada, uma vez que a proteína endógena está diretamente relacionada com a proteína da dieta, esperando estimar a concentração de proteína na dieta através da proteína fecal. O objetivo foi avaliar a possibilidade de ser ter um modelo misto para estimar o consumo de proteína da dieta de bovinos e ovinos. O modelo misto apresentou ERE de 15,1% (Figura 3), que segundo Fuentes-Pila et al. (1996) ERE entre 10% e 20% indica previsões relativamente boas ou aceitáveis. Além disso, como forma de validar a utilização do modelo único, modelos específicos para cada espécie foram criados e testados de forma inversa (modelo de bovinos em ovinos e vice versa) e apresentaram ERE de 18,3% e 18,1% respectivamente, ficando na faixa de previsão boa ou aceitável descrita por Fuentes-Pila et al. (1996). As inclinações das curvas obtiveram um nível de significância de 0,05. Não houve diferença significativa do modelo misto dos modelos específicos avaliados no teste de média.

Apesar de diversos estudos mostrarem diferenças na capacidade digestiva entre bovinos e ovinos (Boever et al., 1990; Coates et al., 2000; Aguerre et al., 2013; Tedeschi et al., 2019), no presente estudo os modelos as espécies foram boas nas estimativas. Isso pode estar relacionado, que a principal diferença desses animais está principalmente na forma de apreensão dos alimentos. Nos bovinos, a língua é o principal órgão preênsil (Herdt & Sayegh, 2014), enquanto que nos ovinos a língua e os dentes incisivos são suas principais estruturas de apreensão do alimento (Moreira et al., 2018). A apreensão com os dentes e língua, faz com que os ovinos sejam mais eficientes na separação e escolha do alimento a ser ingerido, conseguindo apreender, com facilidade, partes específicas da forragem, mesmo o de menor tamanho, possibilitando ao animal escolher as partes mais tenras e digestíveis da planta, rejeitando as mais fibrosas (Van Soest et al., 1994; Moreira et al. 2018; Tedeschi, et al., 2019). No entanto no presente estudo, essa característica não foi relevante na técnica, logo os modelos mistos de DMO, CMO_{PV} e CPB podem serem usadas para bovinos e ovinos consumindo azevém anual. Apesar de haver diferenças no âmbito digestivo, elas não foram tão grandes a ponto de invalidar o uso dos modelos mistos para o azevém anual. No entanto, para maior confiabilidade, estudos com espécies forrageiras tropicais e nativas devem ser analisados, visto que a composição bromatológica varia amplamente entre espécies podendo diferir a capacidade digestiva das espécies animais.

Contudo, ter modelos mistos para bovinos e ovinos traz vantagens a estudos de nutrição em pastejo, como economia e praticidade aos ensaios de digestibilidade, pois trabalhar com pequenos ruminantes torna mais fácil o manejo (Thomas & Campling, 1976), consequentemente quantidade de alimento durante a experimentação são menores, possibilita trabalhar com um número maior de animais, trazendo mais significância para detectar diferenças estatísticas para as características de interesse (Hristov et al., 2019).

Além disso ensaios com pequenos animais, possibilita abranger uma diversidade maior de espécies forrageiras nos estudos em gaiolas de metabolismo. Esse ponto é importante para modelos de suporte a decisão a manejos nutricionais, que utilizam modelos de estimativas a partir de dietas e amostras fecais, como base de seus sistemas, para monitorar a concentração de nutrientes na dieta do animal, de diferentes sistemas, e determinar se a dieta atual é suficiente para cumprir as metas de desempenho estabelecidas pelo produtor (Stuth & Tolleson, 2000), como o NUTBAL. Portanto ter modelos precisos de diversas forrageiras é de suma importância para a eficácia de softwares ajudarem produtores no manejo nutricional de diversos sistemas (Tedeschi, 2019) e pequenos animais possibilita que esses estudos sejam mais fáceis.

6.5. Conclusão

Modelos mistos de bovinos e ovinos para estimativa de DMO, CMO_{PV} e CPB baseadas na excreção de PB nas fezes, podem ser utilizadas de forma satisfatória.

6.6. Referências bibliográficas

- AGUERRE, M.; CAJARVILLE, C.; KOZLOSKI, G. V.; REPETTO, J. L. Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 186, p. 12-19, 2013.
- ALVES, A. R.; PASCOAL, L. A. F.; CAMBUÍ, G. B.; TRAJANO, J. D.; SILVA, C. M.; GOIS, G. C. Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. **PUBVET**, v. 10, n. 7, p. 568-579, 2016.
- AOAC, **Official Methods of Analysis**, 15th ed. Association of Official Analytical, Arlington (VA), 1990.
- AZAMBUJA, J. C. R.; CARVALHO, P. C. F.; BONNET, O. J. F.; BASTIANELLI, D.; JOUVEN, M. Functional classification of feed items in Pampa grasslands, based on their Near-Infrared Spectrum. **Rangeland Ecology and Management**, v. 73, n. 3, p. 358-367, 2020.
- AZEVEDO, E. B.; POLI, C. H. E. C.; DAVID, D. B.; AMARAL, G. A.; FONSECA, L.; CARVALHO, P. C. F.; FISCHER V.; MORRIS, S. T. Use of faecal components as markers to estimate intake and digestibility of grazing sheep. **Livestock Science**, v. 165, p. 42-50, 2014.
- BECK, M. R.; GREGORINI, P. How Dietary Diversity Enhances Hedonic and Eudaimonic Well-Being in Grazing Ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, p. 191, 2020.
- BERCHIELLI, T. T.; GARCIA, A. V. de.; OLIVEIRA, S. G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 2ª edição. Jaboticabal: Funep, p. 397-418, 2011.
- BOEVER, J. L.; ANDRIES, J. I.; BRABANDER, D. L.; COTTYN, B. G.; BUYASSE, F. X. Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure — A review of factors affecting it. **Animal feed Science and Technology**, v. 27, p. 281–291, 1990.
- BOVAL, M.; ARCHIMEDE, H.; FLEURY, J.; XANDE, A. The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical forage. **Journal of Agricultural Science**, v. 140, p. 443–450, 2003.
- CAMPOS, P. R. S. S.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; CECON, P. R.; LEÃO, M. I.; LUCCHI, B. B.; SOUZA, S. M.; PEREIRA, O. G. Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p.79-86, 2010.

CARVALHO, P.C.F.; KOZLOSKI, G.V.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; REFFATTI, M.V.; GENRO, C.M.; EUCLIDES, V.P.B. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.51-170, 2007.

COATES, D. B.; PENNING, P. Measuring animal performance. In: MANNETJE, L.; JONES, R. M. **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. CAB International, Wallingford, UK. p. 353-402, 2000.

COTTLE, D. J. The trials and tribulations of estimating the pasture intake of grazing animals. **Animal Production Science**, v. 53, n. 1, p. 1209-1220, 2013.

DAVID, D. B.; POLI, C. H. E. C.; SAVIAN, J. V.; AMARAL, G. A.; AZEVEDO, E. B.; CARVALHO, P.C.F.; PIMENTEL, C. M. M., Faecal index to estimate intake and digestibility in grazing sheep. **Journal Agriculture Science**, v. 152, p. 667-674, 2014.

FUENTES-PILA, J.; DELORENZO, M.A.; BEEDE, D.K.; STAPLES, C.R.; HOLTER, J.B. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. **Journal of dairy Science**, v.79, p.1562-1571, 1996.

FUENTES-PILA, J.; IBANEZ, M.; MIGUEL, J.M.D.; BEEDE, D.K. Predicting average feed intake of lactating Holstein cows fed totally mixed rations. **Journal of dairy Science**, v.86, p.309- 323, 2003.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. Forage Fiber Analysis (Apparatus Reagents, Procedures and Some Applications). **Agriculture Handbook**. United States Department of Agriculture, Washington DC, 1970.

HERDT, T. H. & SAYEGH, A. I. Fisiologia do trato gastrointestinal. In: KLEIN, B.G. **Cunningham Tratado de Fisiologia Veterinária**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 276-288, 2014.

HOLECHEK, J. L.; VAVRA, M.; ARTHUN, D. Relationship between performance, intake, diet nutritive quality, and fecal nutritive quality of cattle on mountain range. **Journal of Range Management**, v. 35, n. 6, p. 741-744, 1982.

HRISTOV, A. N.; BANNINK, A.; CROMPTON, L. A.; HUNTANEN, P.; KREUZER, M.; McGEE, M.; NOZIERE, P.; REYNOLDS, C. K.; BAYAT, A. R.; YÁÑEZ-RUIZ, D. R.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; SCHWARM, A.; SHINGFIELD, K. J.; YU, Z. Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 7, p. 5811-5852, 2019.

KOSLOSKI, G. V.; ZILIO, E. M.; ONGARATO, F.; KUINCHTNER, B. C. Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 3, p. 443-449, 2018.

KOZLOSKI, G. V.; OLIVEIRA, L.; POLI, C. H. E. C.; AZEVEDO, E. B.; DAVID, D. B.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; COLLET, S. G. J. Faecal nitrogen excretion as an approach to estimate forage intake of wethers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 98, p. 659–666, 2014.

LANCASTER, R.J. Estimation of digestibility of grazed pasture from faeces nitrogen. **Nature**, v. 163, p. 330-331, 1949.

LANCASTER, R.J. The nutritive status of New Zealand pastures. **Proceedings of the New Zealand Society Animal Production**, v.7, p.125-127, 1947.

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, p.347– 358, 1996.

LUKAS, M.; SÜDEKUM, K. H.; RAVE, G.; FRIEDEL, K.; SUSENBETH, A. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. **Journal Animal Science**, v. 83, p. 1332–1344, 2005.

LYONS, R.K.; J.W. STUTH. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal of Range Management**, v. 45, n. 3, p. 238-244, 1992.

MOREIRA, S. M.; COSTA, P. T.; FERNANDES, T. A.; FARIAS, G. D.; FARIA, P. O. Comportamento ingestivo de ovinos em gramíneas tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 258, p. 292-298, 2018.

PENNING, P. D. Animal-based techniques for estimating herbage intake. In: PENNING, P. D. **Herbage intake handbook**. 2. ed. The British Grassland Society, p. 151-176, 2004.

PERIPOLLI, V.; PRATES, E. R.; BARCELLOS, J. O. J.; NETO, J. B. Faecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, p. 170–173, 2011.

PINO, F.; MITCHELL, L. K.; JONES, C. M; HEINRICHS, A. J. Comparison of diet digestibility, rumen fermentation, rumen rate of passage, and feed efficiency in dairy heifers fed ad-libitum versus precision diets with low and high quality forages. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 1296-1306, 2018.

POPPI, D.P.; FRANCE, J.; MCLENNAN, S.R. Intake, Passage and Digestibility. In: THEODOROU, M.K.; FRANCE, J. **Feeding systems and feed evaluation models**. New York: CABI, p.35-52, 2000.

RAYMOND, W.F. Evaluation of herbage for grazing. **Nature**, v. 161, p. 937- 945, 1948.

ROMBACH, M.; SÜDEKUM, K. H.; MÜNGER, A.; SCHORI, F. Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioral, environmental, and feed variables. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 4, p. 2985-2999, 2019.

SAVIAN, J. V; GENRO, T. C. M.; NETO, A. B.; BREM, C.; AZEVEDO, E. B.; DAVID, D. B., GONDA, H. L.; CARVALHO, P. C. F. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 242, p. 144–149, 2018.

- SAVIAN, J.V.; GENRO, T.C.M.; NETO, A.B.; BREM, C.; AZEVEDO, E.B.; DAVID, D.B.; GONDA, H.L.; CARVALHO, P.C.F. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.242, p.144–149, 2018.
- SCHLECHT, E.; SUSENBETH, A. Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude, protein concentration of cattle and small ruminants. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 90, p. 369–379, 2006.
- STUTH, J.; TOLLESON, D. Monitoring the nutritional status of grazing animals using near-infrared spectroscopy. **Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian**, v. 22, n. 8, p. 108-105, 2000.
- TEDESCHI L. O. Mathematical Modeling in Ruminant Nutrition: Approaches and Paradigms, Extant Models, and Thoughts for Upcoming Predictive Analytics. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 5, 2019.
- TEDESCHI, L. O.; MOLLE, G.; MENENDEZ, H. M.; CANNAS, A.; FONSECA, M. A. The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. **Translational Animal Sciences**, v. 3, n. 2, p. 811-828, 2019.
- THOMAS, S.; CAMPLING, C., Relationship between digestibility and faecal nitrogen in sheep and cows offered herbage *ad libitum*. **Journal of British Grassland Society**, v.31, p. 69–72, 1976.
- VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant, 2nd edn. Ithaca (NY): Comstock Publishing Associates, 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, p.3583–3597, 1991.
- WANG, C. J.; TAS, B. M.; GLINDEMANN, T.; RAVE, G.; SCHMIDT, L.; WEIßBACH, F.; SUSENBETH, A. Faecal crude protein content as an estimate for the digestibility of forage in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, p. 199–208, 2009.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por esses experimentos terem um cunho científico bastante aplicado, a hipótese aqui testada foi com a finalidade de incorporar o conhecimento científico em medidas capazes de facilitar ensaios de digestibilidade para o monitoramento nutricional de animais em pastejo. De forma geral pode-se concluir que os resultados foram positivos, confirmando a hipótese testada, a partir dos dados obtidos, que é possível ter modelos que englobem mais de uma espécie de ruminantes, no presente estudo bovinos e ovinos.

Contudo, ao longo dos estudos para o desenvolvimento e execução do experimento, reforça-se a dificuldade de mensurações do consumo e digestibilidade de animais à pasto. Apesar das diversas metodologias desenvolvidas durante vários anos, ainda existem vários pontos que devem ser estudados e melhor entendido. Novos estudos são sugeridos, principalmente com espécies forrageiras de diferentes climas e alimentos usados na suplementação, como forma de garantir maior aplicação metodológica dos modelos, além de explorar essa metodologia em conjunto com tecnologias de análise de alimentos mais rápidas e econômicas como a espectrofotometria de reflectância do infravermelho próximo (NIRS) para monitoramento nutricional de rebanhos.

8. ANEXO

8.1. Certificado de aprovação de protocolo para uso de animais em pesquisa



Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária
Instituto de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor



Ofício n.º 19/19 – CEUA/IPVDF


Eldorado do Sul, 01 de agosto de 2019.

Senhor Pesquisador:

Com relação ao Projeto de Pesquisa – ANÁLISE FECAL COMO INDICADOR NUTRICIONAL PARA RUMIANTES – protocolado para análise e parecer sob n.º 09/2019, por Diego Bitencourt de David, em 10 de julho de 2019, cabe referir o seguinte:

A Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA-IPVDF) reuniu-se extraordinariamente em 01 de agosto de 2019, no Instituto de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor e emite **PARECER FAVORÁVEL** à respectiva pesquisa a ser desenvolvida, em 06 bovinos, cujo prazo para execução do experimento tem início na data deste ofício.

Atenciosamente,


Fernando Sérgio Castilhos Karam
Coordenador CEUA - IPVDF

COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS