

**GEFERSON ANTONIO FERNANDES**

**Monensina sódica, atendimento da exigência protéica via suplementos e predição do  
consumo de bovinos de corte em pastejo**

**Cuiabá-MT  
2020**

GEFERSON ANTONIO FERNANDES

**Monensina sódica, atendimento de exigência protéica via suplementos e predição do consumo de bovinos de corte em pastejo**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal

Área de Concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Henrique Bevitori Kling de Moraes  
Co-orientador(a): Prof. Dr. André Soares de Oliveira  
Prof. Dr. Claudio Vieira de Araújo

**Cuiabá-MT  
2020**

## Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F363m Fernandes, Geferson Antonio.

Monensina sódica, atendimento da exigência protéica via suplementos e predição do consumo de bovinos de corte em pastejo / Geferson Antonio Fernandes. -- 2020

96 f. ; 30 cm.

Orientador: Eduardo Henrique Bevitori Kling de Moraes.

Co-orientador: André Soares de Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Cuiabá, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Aditivo. 2. Clima Tropical. 3. Modelagem. 4. Produção a pasto. 5. Suplemento. I. Título.

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

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Monensina sódica, atendimento da exigência proteica via suplementos e predição do consumo de bovinos de corte em pastejo

**AUTOR:** Doutorando Geferson Antônio Fernandes

Tese defendida e aprovada em **09** de **outubro** de **2020**.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

1. Prof. Dr. Eduardo Henrique Bevitori Kling de Moraes (Presidente/Orientador)  
INSTITUIÇÃO: UFMT
2. Prof. Dr. André Soares de Oliveira (Membro Interno/Co-orientador)  
INSTITUIÇÃO: UFMT
3. Prof. Dr. Cláudio Vieira de Araujo (Membro Interno/Co-orientador)  
INSTITUIÇÃO: UFMT
4. Prof. Dr<sup>a</sup>. Kamila Andreatta Kling de Moraes (Membro Interno)  
INSTITUIÇÃO: UFMT
5. Prof. Dr. Victor Rezende Moreira Couto (Membro Externo)  
INSTITUIÇÃO: UFGO

**Cuiabá, 09 de outubro de 2020**



Documento assinado eletronicamente por **Victor Rezende Moreira Couto**, **Usuário Externo**, em 27/11/2020, às 09:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLAUDIO VIEIRA DE ARAUJO**,



**Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 27/11/2020, às 10:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **KAMILA ANDREATA KLING DE MORAES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 27/11/2020, às 12:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE SOARES DE OLIVEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/11/2020, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO HENRIQUE BEVITORI KLING DE MORAES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/12/2020, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3054619** e o código CRC **21E36F8E**.

Referência: Processo nº 23108.079595/2020-85

SEI nº 3054619

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela força e coragem iluminando meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais, Adão Antonio Fernandes e Sabina Frozza Fernandes, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos meus grandes amores

Minha esposa Fabíola Francisca Dias Fernandes, pelo amor e incentivo sempre.

Minha filha Eulália Abadia Fernandes, minha companheira de estudos.

Amo vocês

A minha irmã, Francieli Fernandes Fontana meu cunhado Jaison Fontana e meus sobrinhos Willian e Yasmim Fontana que mesmo longe sempre me apoiaram durante toda essa caminhada.

A meu sogro Francisco Airto Fernandes e minha sogra Nildes Eloi Dias Fernandes, pelo apoio e ajuda em todos os momentos e durante todo meu experimento.

A meu cunhado Daniel Kill Silveira, cunhada Francine Dias Fernandes e sobrinha Valentina Fernandes Silveira, pela grande amizade e incentivo

Aos meus grandes amigos Idimar, Claudio e João Rafael, pela grande amizade e pela ajuda em todos os momentos dessa longa caminhada. Meu muito obrigado

Ao meu orientador prof. Eduardo Henrique Bevitori Kling de Moraes, por acreditar em mim, pela confiança e ensinamentos. Muito obrigado;

Aos meus co-orientadores Prof. André Sores de Oliveira, e Prof. Claudio Vieira de Araújo, pelos ensinamentos, conversas e sugestões.

Aos Prof. Kamila Andreatta Kling de Moraes e Prof. Victor Rezende Moreira Couto, por fazer parte dessa banca e somar com seus conhecimentos para que a informação se perpetue e chegue aos diversos cantos onde a pesquisa;

Á todos os professores da pós-graduação em Ciência Animal da UFMT Cuiabá, que me auxiliaram com todos os seus conhecimentos e não mediram esforços para passá-los.  
Muito obrigado;

A Universidade Federal de Mato Grosso, juntamente com a Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, por fazerem parte da minha vida acadêmica;

A CAPES pela bolsa concedida.

Á todos que de forma direta e/ou indireta ajudaram no decorrer desse trabalho.

**Muito obrigado !!!**

## **EPIGRAFE**

**O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.**

**Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas  
admiráveis**

**Jose de alencar**

## RESUMO

Fernandes, G. A. **Monensina sódica, atendimento de exigência protéica via suplementos e predição do consumo de bovinos de corte em pastejo**. 2020 96f. Tese (Doutorado em Ciência Animal), Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá, 2020.

A bovinocultura de corte representa parcela fundamental do agronegócio brasileiro, onde a maior parte é representado por animais criados exclusivamente a pasto, tendo como necessidade a busca por tecnologias que à torne mais lucrativa e competitiva. Nesse sentido, esta tese foi elaborada a partir de três estudos com base em bovinos de corte criados em sistemas de pastagens tropicais. No primeiro estudo objetivou-se avaliar a influência da suplementação protéico-energética fornecida a nível de 1,5% do peso corporal, atendendo diferentes níveis da exigência em proteína via suplemento, com e sem a inclusão do aditivo monensina sódica. Foram utilizados cinco bovinos da raça Nelore não-castrados, com peso corporal (PC) inicial de  $260,0 \pm 10$  kg distribuídos em delineamento em quadrado latino  $5 \times 5$ , em esquema fatorial  $2 \times 2 + 1$ , sendo: dois níveis de atendimento de exigências de proteína bruta via suplemento protéico energético (70 e 100%); com ou sem inclusão de monensina sódica (100 mg/animal/dia) e; suplementação mineral (controle negativo). Não houve interação entre a monensina e nível de proteína bruta atendida. Animais que receberam suplementação protéico-energética apresentaram menor consumo de MS de pasto ( $P < 0,10$ ), porém maior consumo de MS total ( $P < 0,10$ ), do que os animais que receberam somente suplementação mineral. O consumo dos demais constituintes da dieta foram maiores ( $P < 0,10$ ) quando se oferta suplementação protéico-energética. A presença de monensina nos suplementos não alterou o consumo de quaisquer constituintes dietéticos ( $P > 0,10$ ), assim como também não causou impacto ( $P > 0,10$ ) na digestibilidade e concentração dietética da matéria orgânica digestível (MOD), os quais foram maiores ( $P < 0,10$ ) quando se formulou suplementos com atendimento de 100% das exigências

dietéticas de proteína bruta. Os animais que receberam suplemento protéico-energético apresentaram maior retenção e eficiência de utilização do nitrogênio dietético ( $P < 0,10$ ) que os animais que consumiram somente suplementação mineral, os quais não foram afetados ( $P > 0,10$ ) pela presença de monensina no suplemento. Com exceção da excreção do N fecal ( $P > 0,10$ ) o maior atendimento das exigências de PB propicia maior retenção e eficiência de utilização do N ( $P < 0,10$ ). O segundo e terceiro estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar modelos de predição de consumo de matéria seca pasto ( $CMS_{\text{pasto}}$ ) e total ( $CMS_{\text{total}}$ ) para bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar. Para construção dos modelos foram utilizadas 804 observações de CMS individual, provenientes de 23 estudos de teses ou dissertações, realizados no Brasil, entre 2006 e 2019, totalizando 104 meios de tratamentos. Foram ajustados três modelos de predição para  $CMS_{\text{pasto}}$  e  $CMS_{\text{total}}$ : Modelo I (variáveis relacionadas ao animal), Modelo II (Variáveis do animal mais do suplemento alimentar) e Modelo III (Variáveis do animal, do suplemento e do pasto). Os modelos propostos para  $CMS_{\text{pasto}}$  não apresentaram diferença ( $P > 0,05$ ), para raiz do quadrado médio do erro predição. A incorporação de variáveis preditivas do suplemento alimentar (Porcentagem do peso corporal ofertado e consumo proteína bruta via suplemento, kg/dia) com as variáveis do animal (Peso médio metabólico e ganho de peso corporal) Modelo II, não melhorou a capacidade preditiva. A inclusão de variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto (Proteína bruta) ao Modelo III melhorou a acurácia e precisão, proporcionando maior coeficiente de determinação e coeficiente de correlação e concordância que os demais modelos, também se mostrou mais acurado e preciso que o proposto por Azevedo et al., (2016) e Minson e McDonald (1987), os quais apresentaram precisão e acurácia inferior aos Modelos I, II e III propostos. Sendo assim concluiu-se que o  $CMS_{\text{pasto}}$  pode ser estimado com maior precisão e acurácia com o Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto). Para  $CMS_{\text{total}}$  os Modelos propostos apresentaram semelhança ( $P > 0,05$ ), para raiz do quadrado médio do erro predição. A

incorporação de variáveis preditivas do suplemento alimentar (Porcentagem do peso corporal ofertado e consumo proteína bruta via suplemento, kg/dia) com as variáveis do animal (Peso médio metabólico e ganho de peso corporal) Modelo II, melhorou a capacidade preditiva do modelo. A inclusão de variáveis associada ao pasto (Proteína bruta) Modelo III não melhorou a acurácia e precisão. Entre os Modelos propostos o Modelo II (Animal + Suplemento) apresentou baixo viés médio além de maior coeficiente de correlação e concordância que os demais modelos indicando ser o modelo mais adequado para predição do  $CMS_{total}$ . Além disso, se mostrou mais acurado e preciso que os Modelos propostos por Azevedo et al., (2016), os quais apresentaram menor capacidade preditiva, com maior viés médio e baixo coeficiente de correlação e concordância. Sendo assim concluiu-se que o  $CMS_{total}$  pode ser estimado com maior precisão e acurácia com o Modelo II (Animal + Suplemento).

**Palavras-Chave:** Aditivo. Clima Tropical. Modelagem. Produção a pasto. Suplemento.

## ABSTRACT

Fernandes, G. A. **Monensin sodium, meeting protein requirements via supplements and prediction of consumption of beef cattle grazing.** 2020 96f. Thesis (PhD in Animal Science), Graduate Program in Animal Science, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá, 2020.

Beef cattle represents a fundamental part of Brazilian agribusiness, where the majority is represented by animals raised exclusively on pasture, with the need to search for technologies that make it more profitable and competitive. In this sense, this thesis was elaborated from three studies based on beef cattle raised in tropical pasture systems. In the first study, the objective was to evaluate the influence of protein-energy supplementation provided at the level of 1.5% of body weight, meeting different levels of protein requirement via supplement, with and without the inclusion of the additive sodium monensin. Five non-castrated Nelore cattle were used, with initial body weight (BW) of  $260.0 \pm 10$  kg distributed in a 5 x 5 Latin square design, in a 2 x 2 + 1 factorial scheme, being: two levels of crude protein requirements via an energy protein supplement (70 and 100%); with or without inclusion of sodium monensia (100 mg / animal / day) and; mineral supplementation (negative control). There was no interaction between monensin and the level of crude protein served. Animals that received protein-energy supplementation showed lower consumption of DM from pasture ( $P < 0.10$ ), but higher consumption of total DM ( $P < 0.10$ ), than animals that received only mineral supplementation. The consumption of the other constituents of the diet was higher ( $P < 0.10$ ) when protein-energy supplementation was offered. The presence of monensin in supplements did not alter the consumption of any dietary constituents ( $P > 0.10$ ), nor did it impact ( $P > 0.10$ ) on the digestibility and dietary concentration of digestible organic matter (MOD), which were higher ( $P < 0.10$ ) when supplements were formulated to meet 100% of the crude protein dietary

requirements. The animals that received a protein-energy supplement showed greater retention and efficiency in the use of dietary nitrogen ( $P < 0.10$ ) than the animals that consumed only mineral supplementation, which were not affected ( $P > 0.10$ ) by the presence of monensin in the supplement. With the exception of excretion of fecal N ( $P > 0.10$ ), greater compliance with the requirements of CP provides greater retention and efficiency of use of N ( $P < 0.10$ ). The second and third study aimed to develop and evaluate models for prediction of consumption of dry pasture ( $DMI_{\text{pasture}}$ ) and total ( $DMI_{\text{total}}$ ) for beef cattle reared in tropical conditions using food supplementation. To build the models, 804 individual DMI observations were used, from 23 thesis or dissertation studies, carried out in Brazil, between 2006 and 2019, totaling 104 means of treatments. Three prediction models for  $DMI_{\text{pasture}}$  and  $DMI_{\text{total}}$  were adjusted: Model I (animal-related variables), Model II (Animal variables plus food supplement) and Model III (Animal, supplement and pasture variables). The models proposed for  $DMI_{\text{pasture}}$  showed no difference ( $P > 0.05$ ), for the root of the mean square of the prediction error. The incorporation of predictive variables of the food supplement (Percentage of body weight offered and consumption of crude protein via supplement, kg / day) with animal variables (Average metabolic weight and body weight gain) Model II, did not improve the predictive capacity. The inclusion of variables associated with the animal, supplement and pasture (Crude protein) in Model III improved the accuracy and precision, providing a higher coefficient of determination and coefficient of correlation and agreement than the other models, also proved to be more accurate and precise than the one proposed by Azevedo et al., (2016) and Minson and McDonald (1987), which presented precision and accuracy inferior to the proposed Models I, II and III. Thus, it was concluded that the  $DMI_{\text{pasture}}$  can be estimated with greater precision and accuracy with the Model III (Animal + Supplement + Pasture). For  $DMI_{\text{total}}$  the proposed Models showed similarity ( $P > 0.05$ ), for the root of the mean square of the prediction error. The incorporation of predictive variables of the food supplement (Percentage of body weight offered

and consumption of crude protein via supplement, kg / day) with the animal variables (Average metabolic weight and body weight gain) Model II, improved the predictive capacity of the model. The inclusion of variables associated with pasture (Crude protein) Model III did not improve the accuracy and precision. Among the Models proposed, Model II (Animal + Supplement) presented a low mean bias, in addition to a higher correlation and agreement coefficient than the other models, indicating that it is the most adequate model for predicting the  $DMI_{total}$ . In addition, it proved to be more accurate and accurate than the Models proposed by Azevedo et al., (2016), which had less predictive capacity, with a higher mean bias and low correlation and agreement coefficient. Thus, it was concluded that the  $DMI_{total}$  can be estimated with greater precision and accuracy with Model II (Animal + Supplement).

**Keywords:** Additive. Tropical weather. Modeling. Pasture production. Supplement.

## SUMÁRIO

1. Introdução geral .....	17
2. Referências bibliográficas.....	23
Capítulo 1 - Monensina sódica e percentual de exigência protéica atendida via suplementos concentrados para bovinos em pastejo .....	26
1. Introdução .....	27
2. Material e métodos.....	29
2.1- <i>Animais e delineamento experimental</i> .....	29
2.2 - <i>Procedimentos experimentais e coletas</i> .....	29
2.3 - <i>Análise químicas e cálculos</i> .....	30
2.4 - <i>Análises Estatísticas</i> .....	31
3. Resultados.....	32
3.1 - <i>Consumo</i> .....	32
3.2 - <i>Digestibilidade</i> .....	32
3.3- <i>Eficiência de utilização do nitrogênio</i> .....	33
4. Discussão .....	33
5. Conclusão.....	39
6. Referências: .....	40
Capítulo 2 - Predição do consumo de pasto por bovinos de corte em pastejo .....	49
1. Introdução .....	50
2. Material e Métodos .....	51
2.1 - <i>Banco de dados e desenvolvimento dos modelos:</i> .....	51
2.2 - <i>Avaliação dos Modelos</i> .....	53
3. Resultados.....	55

3.1 - Banco de Dados .....	55
3.2 - Desenvolvimento dos modelos de predição .....	55
3.3 - Avaliação dos modelos .....	56
4. Discussão .....	57
5. Conclusão.....	60
6. Referências bibliográficas.....	61
Capítulo 3 - Predição do consumo de matéria seca de bovinos de corte em pastejo.....	73
1. Introdução .....	74
2. Material e Métodos .....	75
2.1 - Banco de dados e desenvolvimento dos modelos: .....	75
2.2 - Avaliação dos Modelos.....	77
3. Resultados.....	79
3.1 - Banco de Dados.....	79
3.2 - Desenvolvimento dos modelos de predição .....	79
3.3 - Avaliação dos modelos .....	80
4. Discussão .....	81
5. Conclusão .....	84
6. Referências bibliográficas.....	84

## 1. Introdução geral

Ao considerarmos o grande aumento da população, que segundo FAO (2011) passará de sete bilhões de habitantes para nove bilhões em 2050, a necessidade de aumento na produção de alimentos assume cada dia mais importância. Aliado a esse fato a busca por produtos de melhor qualidade e mais seguros para o consumo, faz com que os sistemas de produção busquem se tornar cada vez mais eficientes.

Entre os alimentos e produtos consumidos pela população, os derivados de origem animal, principalmente de ruminantes ocupam lugar de destaque devido aos inúmeros produtos alimentícios obtidos. Nesse sentido, melhorias no sistema de produção são necessárias, devido à grande dimensão territorial utilizada para atividade pecuária, na qual os animais estão submetidos a diferentes condições de manejo e alimentação durante sua vida produtiva.

Sendo assim, Lampert (2010) alega que novos caminhos devem ser trilhados com objetivo de elevar a competitividade deste setor, e compreender como se processa a elevação da produtividade e eficiência de bovinos de corte. A intensificação da bovinocultura com a finalidade de alcançar melhores resultados é uma necessidade para a atividade, pois está relacionada diretamente com a competitividade do mercado, onde as empresas rurais mais eficientes, com melhores produtividades e menores custos de produção são as mais exigidas (Soares, 2012).

Certamente, a pecuária de corte brasileira deve ser compreendida a partir de um ponto de vista complexo, que abrange fatores diferentes dentro do sistema de produção (animal, fatores climáticos, ambiente e econômicos), assumindo uma grande complexidade na obtenção do produto final, pois sua quantidade, qualidade e eficiência econômica e ambiental são afetados por diferentes interações (Moretti et al., 2013).

As condições de clima e a extensão territorial são particularidades que, desde o início da pecuária brasileira, definem uma característica importante dessa atividade, que é ter a quase totalidade do rebanho criado em pastagens (Ferraz; Felício, 2010). Em decorrência dessa aptidão da pecuária nacional, o Brasil tem nas pastagens o fundamento da sua pecuária de corte, garantindo com isso um dos menores custos de produção de carne bovina do mundo, (Deblitz, 2013).

Entretanto, o pasto raramente está em estado de equilíbrio na relação entre suprimento e demanda do animal. Isso ocorre em função da sazonalidade quantitativa e qualitativa inerente a esse sistema de produção. Desta forma, o ajuste nutricional entre a curva de oferta de pasto e a demanda dos animais é uma necessidade para se alcançar maior eficiência dos sistemas de produção, pois quando se busca elevados índices de eficiência produtiva e econômica, torna-se necessário eliminar as fases que limitem o crescimento animal, promovendo condições favoráveis para que os mesmos desenvolvam todo o seu potencial genético.

Em virtude disso, a suplementação alimentar assume grande destaque, pois, possibilita corrigir a deficiência de nutrientes na pastagem, otimizar os nutrientes contidos na forragem, potencializar o ganho de peso individual e por área, diminuir a idade de abate e, por consequência, elevar a produtividade (Pires, 2010). Segundo Almeida e Azevedo, (1996), a adoção da técnica de suplementação alimentar em um sistema de produção animal a pasto deverá, antes de qualquer coisa, tornar a exploração mais lucrativa.

Desse modo, conhecer os requerimentos dos animais é de suma importância, pois o déficit nutricional pode prejudicar processos vitais como a respiração, circulação, atividade dos músculos, manutenção da temperatura corporal, processos metabólicos (manutenção dos animais), dentre outras funções (Guimarães et al., 2012). Adicionalmente, os requerimentos para ganho, de acordo com a estratégia em cada sistema, devem ser atendidos para que seja obtido adequado crescimento animal, reprodução e reservas corporais.

Entre os nutrientes necessários à vida, a proteína é um nutriente indispensável para os seres vivos, estando envolvida em diversas funções vitais no organismo. Portanto, garantir adequado suprimento protéico aos animais significa provê-los de um nutriente essencial para manutenção de sua homeostase, propiciando a produção de forma eficiente (Valadares Filho et al., 2009). No estudo de nutrição de ruminantes, ao considerar as entradas (ingestão) e saídas (excreção) de nitrogênio no sistema, há dois subsistemas que precisam ser estudados separadamente e em conjunto, ou seja, o rúmen e o animal (Branco et al., 2012).

Esse estudo é necessário, pois esses animais apresentam algumas particularidades em sua nutrição protéica, porém, suas demandas em proteína são atendidas através de aminoácidos absorvidos no intestino delgado, como em qualquer outro animal. No entanto, grande parte dos aminoácidos absorvidos (50% a 80%), são advindos da proteína microbiana sintetizada no rúmen, tendo contribuição da proteína dietética não degradada no rúmen e as secreções endógenas (Bach et al., 2005; Branco et al., 2012).

Níveis de proteína bruta na dieta acima das exigências nutricionais resultam em aumento na excreção de nitrogênio, principalmente via urina. Assim, a redução na excreção de nitrogênio com base no atendimento das exigências sem prejudicar o desempenho tem grande potencial de diminuir o “impacto ambiental dos bovinos”, e conseqüentemente, aumentar o retorno econômico para os produtores (Amaral, 2012).

Nesse cenário, a manipulação da fermentação ruminal vem se tornando uma valiosa ferramenta utilizada por técnicos e nutricionistas na busca pelo aumento da produtividade para atender à crescente demanda por produtos de origem animal. Devido a necessidade de aumento na produção, a inclusão de aditivos alimentares tornou-se uma prática comum na nutrição de ruminantes. Essa medida é adotada com propósito de promover o uso eficiente de nutrientes minimizando as perdas de energia e proteína durante a fermentação.

Nos sistemas de produção brasileiro o uso de aditivos nas dietas de ruminantes tem se intensificado, devido as dietas fornecidas aos animais conterem níveis crescente de grãos, principalmente em animais terminados em regime de confinamentos, tendo como objetivo a redução de distúrbios nutricionais e melhora na conversão alimentar, além de reduzir a emissão de gases com elevado potencial de efeito estufa.

Após as confirmações dos benefícios do uso de aditivos em dietas de bovinos de corte confinados, houve crescente demanda por pesquisas relacionadas ao uso em dietas de bovinos produzidos em sistema de pastejo, objetivando melhoria nos índices de produção. Nas mais diversas pesquisas, o uso de ionóforos é o mais bem sucedido exemplo de manipuladores de fermentação ruminal, onde tem apresentado, como resultado do seu uso, aumento do desempenho animal através da utilização de forma eficiente de energia e nitrogênio no ambiente ruminal.

Dos ionóforos fornecidos na alimentação de ruminantes, a monensina sódica, é utilizada comercialmente há pelo menos quatro décadas. Seu uso, dentre outros efeitos, melhora a eficiência alimentar, diminui a produção de metano e minimiza os riscos de distúrbio metabólicos (Mantovani & Bento, 2013). Nos Estados Unidos, o uso da monensina em dietas para bovinos de corte em confinamento iniciou em 1976 e em bovinos em pastejo em 1978 (Morais et al., 2011).

O mecanismo por meio do qual a monensina age sobre os microrganismos, está relacionado com o transporte de íons através da membrana plasmática da célula, na qual realiza o antiporte de sódio/potássio, pela maior afinidade a esses cátions. Nos microrganismos, na tentativa de restabelecer a homeostase, a célula hidrolisa ATP intracelular de forma excessiva. Esse distúrbio do equilíbrio iônico e de pH intracelulares faz com que seja ativado mecanismos homeostáticos que irão consumir energia, tendo como consequência a morte da bactéria gram-

positiva ou fazendo com que a população destas seja severamente suprimida (Russel e Strobel, 1989).

Além disso, para que seja possível realizar a suplementação atendendo corretamente as exigências nutricionais e fornecimento dos aditivos, torna-se necessário o conhecimento do real consumo de MS de pasto ( $CMS_{\text{pasto}}$ ) e total ( $CMS_{\text{total}}$ ). Segundo Forbes (2007), o consumo de forragem é o principal fator determinante do desempenho de animais em pastejo, o que é influenciado por diversos fatores.

Nesse cenário, o uso da modelagem para prever o  $CMS_{\text{pasto}}$  e  $CMS_{\text{total}}$ , torna-se essencial. A modelagem pode ser definida com uma equação ou conjunto de equações as quais representam o comportamento de um sistema, onde há correspondência entre as variáveis do modelo e as quantidades observadas (Thornley e France, 2007).

Os modelos desenvolvidos podem ser usados com diversos propósitos: melhorar o desempenho animal, reduzir os custos de produção, minimizar a excreção de nutrientes por meio de melhor estimativa da exigência e utilização de alimentos em diferentes cenários produtivos. Esses modelos apresentam a vantagem de serem flexíveis, permitindo sucessiva atualização nos valores dos seus parâmetros à medida que novos resultados de pesquisa se tornam disponíveis na literatura. Nos últimos anos, tem sido evidente a importância dos modelos matemáticos para o aumento do sistema de produção.

Entre as variáveis que podem ser estimadas com uso de equações matemáticas, destaca-se o CMS, devido apresentar grande importância na formulação das dietas, pois através do mesmo é possível evitar a sub ou superalimentação. Evitando-se a subalimentação impede-se que a saúde animal seja afetada; ao passo que se evitando a superalimentação é possível reduzir o custo da alimentação, excreção de nutrientes no ambiente e distúrbios digestivos (NRC, 2001).

Estimar o CMS não é uma tarefa fácil, devido ser afetado por inúmeros fatores, entre eles podemos destacar aspectos relacionados ao alimento, animal, ambiente e/ou manejo (Berchielli et al., 2011), tornando esta variável extremamente difícil de ser estimada através de modelos matemáticos. Contudo, apesar da complexidade de gerar equações empíricas, os sistemas nutricionais como National Research Council (NRC), Agricultural and Food Research Council (AFRC), Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) e BR-Corte tem ajustado modelos para estimar esse consumo.

No entanto, maior parte desses modelos ajustados para prever o CMS de bovinos de corte utilizaram dados de animais em regime de confinamento, sendo apropriado para este sistema de produção, não sendo adequado para prever o consumo de animais criados em regime de pastagem, devido as variáveis que influenciam o consumo desses animais serem mais diversas que em confinamento, o que pode explicar a menor disponibilidade de modelos preditivos do CMS para bovinos de corte em pastejo.

Para estimar o CMS de bovinos a pasto em condições tropicais, o modelo em uso no Brasil foi desenvolvido por Azevedo et al., (2016), onde os mesmos propuseram um modelo ajustado para CMS total, para animais em pastejo com uso da suplementação alimentar. No entanto este modelo tem uma capacidade limitada de prever o consumo somente de pasto, sendo necessário o ajuste de modelos que estimem essa importante fração do alimento ingerido pelos animais.

Desse modo, foram realizados três estudos utilizando bovinos de corte criados em sistema de pastagem com uso de suplementação alimentar. No primeiro estudo objetivou-se avaliar os benefícios da presença ou não da Monensina e do atendimento de diferentes percentual de exigência protéica via suplementação, sobre consumo, digestibilidade e eficiência de utilização do nitrogênio da dieta, consumida por bovinos de corte em pastejo.

No segundo e terceiro estudo, objetivou-se ajustar modelos de predição do  $CMS_{\text{pasto}}$  e  $CMS_{\text{total}}$  por bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar.

**Os Capítulos a seguir apresentam-se de acordo com as normas para publicação na revista Livestock Science.**

## **2. Referências bibliográficas**

- Amaral, P.M.; Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína. (Dissertação). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 69f. 2012.
- Azevêdo, J.A.G.; Valadares Filho, S.C.; Costa e Silva, L.F., et al. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados, BR-Corte 3ª edição Viçosa, MG: UFV 2016.
- Bach, A.; Calsamiglia, S.; Stern, M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 88 (E. Suppl.):E9–E21, 2005.
- Berchielli, T. T.; Pires, A. V.; Oliveira, S. G. *Nutrição de Ruminantes*. 2ª Edição. Jaboticabal - SP: FUNEP – Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, 2011. 616 p.
- Branco, A.F.; Harmon, D. L.; Osmari, M. P.; *Nutrição de precisão aplicada à produção de ruminantes*. In: 49º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Anais...Volume:41, 2012.
- Deblitz, C. 2013 Beef and Sheep Report: understanding agriculture worldwide. *Agri benchmark*. 2013. Disponível em: <<http://www.agribenchmark.de/beef-and-sheep/publications-and-projects/beef-and-sheep-report.html>>. Acesso em: 30 janeiro. 2020.

- FAO, Global foods losses and food waste. Internacional Congress save food. Rome, 2011.
- Ferraz, J. B. S.; Felício, P. E. de. Production systems - An example from Brazil. *Meat Science*, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.
- Forbes, J.M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*, 20, 132-146, 2007.
- Guimarães, T. P.; Moreira, K. K. G.; Araújo, E. P., et al. Conceitos e exigências de energia para bovinos de corte. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 18, n. 1, 2012.
- Lampert, V.N. Produtividade e eficiência de sistemas de ciclo completo na produção de bovinos de corte. 2010. 124 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- Mantovani, H. C.; Bento, C.B.P. Manipulação da Fermentação microbiana ruminal para máxima eficiência animal. *Anais II Simpósio Matogrossense de Bovinocultura de Corte*, Cuiabá-MT, 2013.
- Morais, J.A.S.; Berchielli, T.T.; Reis, R.A. Aditivos. In: Berchielli, T.T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal, p.566-567, 2011.
- Moretti, M.H.; Resende, F.D.; Siqueira, G.R. Roth. A. P. T. P., Custódio, L., Roth, M. T. O., Campos, W. C., Ferreira, L. H. Performance of nellore young bulls on marandu grass pasture with protein supplementation. *Revista Brasileira de Zootecnia.*, v.42, n.6, p.438-446, 2013.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirement of the dairy cattle*. 7.ed. Washington: National Academic Science. 2001.
- Pires, A. V. *Bovinocultura de corte*. Piracicaba: FEALQ, 2010. 760 p.
- Russell, J.B.; Strobel, H.J. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, v.55, n.1, p.1-6, 1989.

- Soares, J.C.R. Avaliação econômica da terminação de bovinos em pastagem irrigada. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- Thornley, J. H.; France, J. Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2ª ed. Wallingford: CABI, p. 906, 2007.
- Valadares Filho, S.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P.V.R.; Exigências nutricionais de bovinos de corte no Brasil: desafios. Revista Ceres. 56(4): 488-495, 2009.

## **Capítulo 1 - Monensina sódica e percentual de exigência protéica atendida via suplementos concentrados para bovinos em pastejo**

**Resumo:** Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência da suplementação protéico-energética fornecida a nível de 1,5% do peso corporal, atendendo diferentes níveis da exigência em proteína via suplemento, com e sem a inclusão de monensina sódica. Foram utilizados cinco bovinos da raça Nelore não-castrados, com peso corporal (PC) inicial de  $260,0 \pm 10$  kg distribuídos em delineamento em quadrado latino  $5 \times 5$ , em esquema fatorial  $2 \times 2 + 1$ , sendo: dois níveis de atendimento de exigências de proteína bruta via suplemento protéico-energético (70 ou 100%); com ou sem inclusão de monensina sódica (100 mg/animal/dia) e; somente suplementação mineral (controle negativo). Não houve interação entre a monensina e nível de proteína bruta atendida. A suplementação protéico-energética reduziu o consumo de MS de pasto ( $P < 0,10$ ), porém proporcionou maior consumo de MS total ( $P < 0,10$ ), do que os animais que receberam somente suplementação mineral. O consumo dos demais constituintes da dieta foram maiores ( $P < 0,10$ ) quando se oferta suplementação protéico-energética. A presença de monensina nos suplementos não alterou o consumo dos constituintes dietéticos ( $P > 0,10$ ), assim como também não causou impacto ( $P > 0,10$ ) na digestibilidade e concentração dietética da matéria orgânica digestível (MOD), os quais foram maiores ( $P < 0,10$ ) quando se formulou suplementos com atendimento de 100% das exigências dietéticas de proteína bruta. Os animais que receberam suplemento apresentaram maior retenção e eficiência de utilização do nitrogênio dietético ( $P < 0,10$ ) que os animais que consumiram somente suplementação mineral, os quais não foram afetados ( $P > 0,10$ ) pela presença de monensina no suplemento. Com exceção da excreção do N fecal ( $P > 0,10$ ) o maior atendimento das exigências de PB propicia maior retenção e eficiência de utilização do N ( $P < 0,10$ ). Sendo assim, concluiu-se que o fornecimento de suplemento protéico-energético, reduziu o consumo de forragem, no entanto, aumentou a

quantidade total de energia ingerida. Assim como, o atendimento de 100% da exigência nutricional incrementou o consumo e a digestibilidade dos nutrientes da dieta. No entanto a utilização de monensina sódica não apresentou benefício de seu uso.

**Palavras chave:** Aditivo, consumo digestibilidade, produção a pasto, proteína bruta

## 1. Introdução

Na pecuária moderna, os planos nutricionais para bovinos de corte em pastejo são, cada vez mais baseados em fontes suplementares, para melhor ajuste da dieta fornecida e atendimento das exigências nutricionais dos animais (Porto et al., 2011). Nesse sentido quando se faz a opção por uma pecuária intensiva com abate de animais mais jovens e melhor qualidade, torna-se necessário o fornecimento suplementos de alto consumo mesmo na fase de crescimento (pós-desmama). Esse plano nutricional vem ganhando destaque nos últimos anos, pois permite produzir animais em regime de pastagens utilizando menor infraestrutura, permitindo ótimos índices de produção (Lima, 2014).

Devido a essa maior intensificação do sistema de produção, busca-se ao máximo reduzir o risco de problemas com os animais e aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes. Nesse sentido, o uso de aditivos, entre eles a Monensina Sódica, tem sido utilizada principalmente em regime de confinamento. No entanto seu uso em suplementos de alto consumo para bovinos corte a pasto ainda carecem de informações mais precisas. Além disso, alguns países, principalmente os da União Europeia, baniram seu uso desde 2006 (artigo nº 11 do regulamento 1831/2003) devido a possíveis potenciais de transferência de resistência antimicrobiana dos animais para os seres humanos.

Nesse contexto, para atender ao nicho de mercado de carne da União Européia e dos países associados, no final de 2018, o Brasil publicou a Portaria nº171 que informa sobre a

intensão de proibição de uso de antimicrobianos com a finalidade de aditivos melhoradores de desempenho, com isso, torna-se necessário estudos que visam demonstrar se há ou não a necessidade de uso da monensina para bovinos de corte.

Dentre os nutrientes fornecidos aos animais, a proteína tem se destacado, devido ao seu alto custo de aquisição e necessidade de atendimento correto de suas exigências, para proporcionar o máximo desempenho aos animais. Para o atendimento dessas exigências algumas estratégias podem ser utilizadas, como: o conhecimento do real consumo de MS de pasto, atendendo o déficit via suplementação, ou atender parte ou toda essa exigência protéica via suplementação.

No entanto Rotta et al. (2016), verificou que as exigências protéicas para bovinos de corte em condições tropicais indicadas pelo BR-Corte 2010, estariam superestimadas, sendo necessário ajustes que foram realizados com a publicação do BR-Corte 2016. Segundo o autor medidas mais racionais na utilização de nutrientes podem reduzir o impacto ambiental e as perdas econômicas, além de proporcionar uma melhora na qualidade do produto nos sistemas de produção. Desta maneira, se faz necessário o conhecimento de até que ponto o atendimento dessas novas exigências de proteína atendidas via suplemento proporcionará maior desempenho aos animais criados em sistema de pastagem.

Sendo assim, hipotetiza-se com o presente trabalho: 1 - Quando maior a exigência de PB atendida via suplementos, maior o desempenho nutricional dos animais; 2 - Pode-se fornecer suplementos de alto consumo (1,5% PC) sem a necessidade de usar monensina em sua formulação. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os benefícios da presença ou não da Monensina e do atendimento de diferentes percentual de exigência protéica via suplementação, sobre consumo, digestibilidade e eficiência de utilização do nitrogênio da dieta, consumida por bovinos de corte em pastejo.

## 2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Córrego Grande, situada no município de Chapada dos Guimarães - Mato Grosso, durante os meses de julho a setembro (período da seca). A área experimental foi constituída de cinco piquetes (0,25 ha) cobertos uniformemente com a *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Tabela 1), providos de bebedouro e comedouro coberto para fornecimento dos suplementos e da água.

### 2.1 - Animais e delineamento experimental

Foram utilizados cinco novilhos Nelore não-castrados, com peso corporal (PC) médio inicial de  $260,0 \pm 10$  kg distribuídos em delineamento em quadrado latino (5x5). O experimento teve duração de 75 dias, divididos em cinco períodos experimentais, com 15 dias cada, sendo os primeiros sete dias destinados à adaptação às dietas e às condições experimentais.

Os animais foram identificados, pesados e distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos (Tabela 1): suplementação mineral (controle negativo) e suplementos concentrados com ou sem monensina sódica (100 mg por animal dia), formulados para atender 70% ou 100% da exigência protéica dos animais, de acordo com BR-corte (2016) para ganho médio de 1,0 kg/dia.

Os suplementos foram ofertados diariamente às 10h00 na quantidade equivalente a 1,5% PC, sendo a quantidade ajustada a cada 15 dias, de acordo com a variação de peso dos animais. Para minimizar possíveis efeitos dos piquetes sobre os tratamentos, os novilhos foram submetidos a um rodízio entre os cinco piquetes a cada período experimental.

### 2.2 - Procedimentos experimentais e coletas

No início de cada período foi efetuada amostragem do pasto por meio de dois métodos. Pelo primeiro método, amostras de forragem foram coletadas para determinação da massa de matéria seca (MS) total e da matéria seca potencialmente digestível (MSpd), através do corte a

10 cm do solo de cinco áreas delimitadas por um quadrado metálico de 0,5 x 0,5m, escolhidas aleatoriamente em cada piquete experimental. As massas de MS total e MS<sub>pd</sub> foram de 8,28 ± 1,3 t MS / ha e 6,351±1,1 t MS / ha.

Pelo segundo método, foi realizada simulação manual de pastejo para coletar o pasto consumido pelos animais, identificando o tipo de material que o animal ingeria, com o objetivo de coletar uma amostra semelhante ao ingerido. As coletas foram realizadas por um único amostrador com o objetivo de evitar variações em cada amostragem.

Para estimativa da excreção fecal utilizou-se o dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) como marcador externo (Titgemeyer et al., 2001). Para estimativa da ingestão de MS foi utilizada a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) como marcador interno.

Dez gramas de TiO<sub>2</sub> foram fornecidos através de uma sonda esofágica durante nove dias de cada período experimental. As coletas de fezes foram realizadas entre os dias 11 e 13 de cada período, de acordo com o seguinte esquema: dia 11 - 06h00 e 14h00; dia 12 - 8h00 e 16h00; dia 13 - 10h00 e 18h00 horas.

Realizou-se no dia 14, coleta de amostras “spot” de urina (10 mL), em micção espontânea dos animais aproximadamente quatro horas após o fornecimento do suplemento. Após a coleta, as amostras foram diluídas em 40 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,036 N e congeladas a -20°C para posterior determinação dos teores de creatinina e uréia.

### *2.3 - Análise químicas e cálculos*

As amostras coletadas (forragem, fezes e ingredientes utilizados para produzir os suplementos) foram pré-secadas em estufa de ventilação forçada a aproximadamente 65°C por 72 horas, quando então foram moídas em moinho de faca com peneira de malha de 1 mm, exceto para as análises de FDNi que foram moídas em peneira de 2 mm de diâmetro. Posteriormente realizou-se análises de acordo com os procedimentos analíticos da AOAC (2006) para: MS (método 930.15); MO, calculado a partir do teor de cinzas;(método 924,05);

PB, obtido pela determinação do N total, usando a técnica de micro-Kjeldahl e uma conversão fixa de 6,25; (método 976,05); e EE, determinado gravimetricamente após extração com éter de petróleo em aparelho Soxhlet; (método 920.39).

A análise de FDNi para estimativa da ingestão de MS do pasto foi obtida após 288 horas de incubação ruminal, (Valente et al. 2011), das amostras dentro de saco de poliéster (Ankon®, saco de filtro F57). A fibra em detergente neutro foi analisada pelo sistema Ankon, usando sacos Ankon (F57) e 100 mL de detergente neutro / g de amostra seca ao ar.

Para estimar consumo voluntário utilizou-se o FDNi (marcador interno) na seguinte equação:  $CMS = \left[ \frac{[(EF \times CIF) - IS]}{CIFO} \times 1000 \right] + CMSS$  onde: CMS= consumo de matéria seca (kg/dia); EF = excreção fecal (kg/dia); CIF = concentração do indicador nas fezes (kg/kg); IS = indicador presente no suplemento (kg/dia); CIFO = concentração do indicador na forragem (kg/kg) e CMSS = consumo de matéria seca de suplemento (kg/dia).

Os teores de carboidratos não-fibrosos seguiram a determinação conforme equação proposta por Detmann et al. (2010) em que  $CNF(\%) = 100 - (\%PB + \%EE + \%FDNcp + \%Cinzas)$ .

Após o descongelamento, as amostras de urina foram analisadas quanto aos teores nitrogênio total (Chen e Gomes, 1992) e de creatinina, pelo método Jaffé modificado (Bioclin K016-1). O volume urinário diário foi calculado por intermédio da relação entre a concentração de creatinina na urina a sua excreção por unidade de PC, adotando-se como referência a equação proposta por Barbosa et al., (2006).

#### 2.4 - Análises Estatísticas

O experimento foi analisado em delineamento em quadrado latino (5x5), em esquema fatorial 2x2+1 (dois níveis de atendimento de exigência protéica; presença ou não de monensina e; suplementação mineral) As comparações entre médias dos tratamentos foi realizada através

de contrastes ortogonais, ao nível de significância de 0,10 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Os contrastes ortogonais foram: : 1) Suplementação mineral (controle) *versus* Suplementação protéico-energética; 2) Presença *versus* ausência de monensina, 3) Atendimento de 70% *versus* 100% das exigências dietéticas de PB e , 4) Interação presença ou não da monensina e nível de PB.

Devido à ausência de efeito significativo para a efeito de interação optou-se por não incluir nas tabelas.

### **3. Resultados**

#### *3.1 - Consumo*

Animais que receberam suplementação protéico-energética apresentaram menor consumo de MS de pasto ( $P < 0,10$ ) e mesmo consumo de FDNcp ( $P > 0,10$ ) do que os animais que receberam somente suplementação mineral (Tabela 2). Os consumos dos demais constituintes da dieta são maiores ( $P < 0,10$ ) quando se oferta suplementação protéico-energética.

A presença de monensina nos suplementos protéico-energético não alterou o consumo de quaisquer constituintes dietéticos ( $P > 0,10$ ), que foram maiores ( $P < 0,10$ ) nos animais que receberam suplementos formulados para atender 100% dos requerimentos dietéticos de PB.

#### *3.2 - Digestibilidade*

O fornecimento de suplementos protéico-energéticos aumentou a digestibilidade dos nutrientes, e conseqüentemente apresentou maior concentração dietética de MOD (Matéria orgânica digestível) em relação à suplementação mineral ( $P < 0,10$ ) (Tabela 3). O fornecimento de monensina não causou impacto ( $P > 0,10$ ) na digestibilidade e concentração dietética da

MOD, que foram maiores ( $P < 0,10$ ) quando se formulou suplementos com atendimento de 100% das exigências dietéticas de PB.

### 3.3 - *Eficiência de utilização do nitrogênio*

Apesar de apresentar maiores excreções de nitrogênio (N) fecal e urinário ( $P < 0,10$ ), animais que receberam suplementação protéico-energética apresentaram maior retenção e eficiência de utilização do N dietético ( $P < 0,10$ ) que os animais que consumiram somente suplementação mineral (Tabela 4).

A eficiência de utilização do N dietético não é afetada ( $P > 0,10$ ) pela presença de monensina nos suplementos protéico-energéticos. Com exceção da excreção do N fecal ( $P > 0,10$ ) o maior atendimento das exigências de PB propicia maior retenção e eficiência de utilização do N ( $P < 0,10$ ).

## 4. **Discussão**

Há redução de 15,8% no consumo de MS de pasto quando se ofertou suplementos protéico-energéticos em relação à oferta exclusiva de suplementos minerais. Essa redução pode ser caracterizada como efeito substitutivo aditivo. Esse efeito combinado (substitutivo-aditivo) é ocasionado pela redução do consumo de forragem associada ao aumento no consumo de suplemento, proporcionando mais nutrientes por kg de matéria seca ingerida, resultando assim, em maior consumo de energia digestível total, principal objetivo quando é ofertado níveis mais elevados de suplementos para animais em pastejo.

Os suplementos de alto consumo geralmente aumentam a quantidade total de energia ingerida (MOD), principalmente por fornecer diretamente energia a partir do suplemento. Neste contexto, a adição de suplementos à dieta incrementou a disponibilidade e a ingestão de energia e proteína, o que pode ser percebido pelo incremento no consumo de MS total e na concentração

dietética de MOD. Ressalta-se que estes efeitos são atribuídos exclusivamente ao suplemento, pois, como previamente ressaltado, foi observado redução no consumo de pasto.

Alguns estudos buscaram associar a relação Proteína:Energia da dieta a possíveis variações no consumo de pasto, utilizando a razão entre PB:MOD como indicador de status protéico / energético. Segundo Detmann et al. (2014) a ingestão máxima será observada com uma relação de 288gPB / kgMOD. Desse modo, a relação de 228gPB/ kgMOD, encontrada no presente trabalho, pode ser uma possível resposta para redução no consumo de MS de pasto observado.

Sampaio et al. (2009), também sugere que a relação de 100g de PB/kg de MS total otimiza o consumo e a utilização dos substratos energéticos da forragem. Desta forma, esperava-se aumento no consumo de FDNcp com o fornecimento de suplemento, devido ter elevado para valores próximos a 135 g de PB/kg de MS total. No entanto isso não ocorreu, provavelmente pelo fato desse valor de PB atingido ser proveniente de alto consumo de suplemento.

Essa redução no consumo de MS de pasto, além de ser proveniente de um alto consumo de suplemento, também é possivelmente relacionada a uma maior seletividade dos animais ao pastejar, ingerindo partes da planta de maior valor nutritivo em razão de um melhor atendimento de seus requerimentos protéicos e energéticos via suplemento comparado com os animais não suplementados, tendo refletido em aumentos nos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes da dieta.

Resultados oriundos de estudos conduzidos no Brasil permitem evidenciar que o fornecimento de suplementos protéico-energético de alto consumo em dieta de bovinos alimentados com gramíneas tropicais permite aumento no consumo de MS total, proporcionando aumentos na ingestão de nutrientes da dieta, (Mendes et al., 2014; Neves et al.,

2018; Silva-Marques et al., 2015), como pôde ser observado no presente trabalho, onde ocorreu aumento na ingestão de PB e MO.

Aliado ao aumento na ingestão dos nutrientes, o fornecimento de suplementos protéico-energéticos incrementou a digestibilidade de todos os constituintes da dieta. Esse aumento nos coeficientes de digestibilidade pode ser devido à presença de compostos mais facilmente digeríveis nas dietas dos animais que receberam suplementos em relação aos animais que recebem somente mistura mineral. O conhecimento da massa ingerida pelo animal, e a proporção que é realmente digerida, nos permite unir os efeitos da suplementação sobre o consumo e digestibilidade. O que pode ser confirmando pelo maior consumo de MOD observado.

Em animais alimentados com gramíneas tropicais, o efeito positivo da suplementação na degradação das fibras deve ser observado com concentrações de NAR acima de 8mg / dL (Detmann et al., 2009). Segundo Detmann et al. (2014) essa concentração de NAR é obtida com um uma relação de 99g de PB/kg de MS, sendo essa uma explicação para o aumento na digestibilidade encontrada pelos animais que receberam suplementação, onde foi proporcionado 135 g de PB/kg de MS total, valor acima do mínimo recomendado.

Outras possibilidades para a melhora encontrada na digestibilidade destes nutrientes estão relacionadas aos efeitos associativos entre os ingredientes dos suplementos com a pastagem. Onde o aumento da concentração dos constituintes não fibrosos na dietas com o fornecimento do suplemento protéico-energético, os quais apresentam disponibilidade rápida e praticamente completa no trato gastrintestinal dos ruminantes (Allen; Mertens, 1988), associada às diferenças quantitativas entre os constituintes da parede celular do milho, do farelo de soja e da pastagem, podem ser considerado a principal causa do aumento da digestibilidade da MS total e do pasto, como dos demais nutrientes.

Outros autores também encontraram melhorias na digestibilidade da MS, PB, MO e FDN (Acedo et al., 2007; Baroni et al., 2010; Porto et al., 2011) com a utilização de suplementos alimentares, com fornecimento variando de 0,25 a 4,0 kg/animal/dia, permitindo um incremento na ingestão PB e de nutrientes de maior digestibilidade, resultados esses que podem estar relacionados ao aumento na concentração de compostos nitrogenados no rúmen.

A complexidade dos efeitos do nitrogênio sobre a produção de animais em pastejo nos trópicos aumenta quando consideramos que sua disponibilidade metabólica afeta o uso da energia metabolizável e que a retenção de nitrogênio no organismo animal é reflexo da eficiência de uso de todos os substratos envolvidos na síntese corporal e de produtos (Detmann et al., 2014). Nesse sentido, foi observado que o fornecimento de suplemento protéico-energético elevou a excreção urinária e fecal de nitrogênio (N). No entanto a suplementação proporcionou uma maior retenção de N no corpo dos animais em comparação com animais que receberam somente mistura mineral.

De acordo com Batista et al. (2017), quando os animais ingerem uma dieta com baixo conteúdo de PB, como ocorre em determinadas épocas do ano, em animais que são alimentados exclusivamente com forragem, há menor deposição de N nos tecidos corporais, uma vez que, uma maior parcela será direcionada para a síntese de uréia e a reciclagem de N, e como consequência, uma quantidade menor de N estará disponível para produção (Detmann et al., 2014), dessa forma o uso de suplementos proporcionou maior aporte de N ao ambiente ruminal, refletido na maior retenção de N encontrado.

A utilização da monensina nos suplementos não foi significativa, devido não influenciar o consumo a digestibilidade dos nutrientes e a utilização do N da dieta, resultado que divergiu de alguns estudos publicados, os quais relatam redução no consumo e aumento da digestibilidade dos alimentos.

Duffield et al. (2012), através de estudo meta-analítico, encontrou uma utilização média de 28,1 ppm/kgMS de monensina, com uma redução no consumo de MS total de 4% e aumento na digestibilidade, tendo como consequência um aumento no ganho de peso. De acordo com o autor os efeitos da monensina são influenciados por vários fatores, incluindo a dose utilizada, modo de fornecimento e composição da dieta.

Segundo Ellis et al. (1983) a magnitude da resposta à ingestão de monensina está relacionada à digestão da forragem, à capacidade física do animal de abrigar resíduos não digeridos e a suas necessidades de energia. Especificamente, sugeriu-se que a monensina aumenta a ingestão de forragens de qualidade média com DMO entre 45% a 65%. Sendo assim, com DMO de 58,04% neste estudo, indicaria um aumento no consumo de forragem. No entanto, não foi encontrado aumento no consumo com sua utilização.

De acordo com Russell e Strobel, (1989) a monensina pode ocasionar redução na degradação da proteína no rúmen com melhor aproveitamento no intestino delgado, fato este que reduziria a perda por aumento retenção do nitrogênio corporal. No entanto, essa resposta não foi obtida, devido não ter ocasionado redução na excreção de N urinário e fecal.

Resultados de melhora na utilização dos nutrientes da dieta reportados na literatura quando se utiliza monensina não foram observados neste estudo, isso pode estar relacionado ao nível de fornecimento do aditivo (100mg) estar abaixo de alguns estudos que obtiveram melhoras na utilização dos nutrientes. Isso comprova que doses mais baixas de monensina nos suplementos não apresenta benefícios de seu uso.

Como o consumo de bovinos criados em sistemas de pastagem é influenciado por fatores quantitativos e principalmente qualitativos, o atendimento de diferentes proporções da exigência nutricional em proteína via suplemento, pode refletir em diferente resposta de consumo. Segundo Cavalcante et al. (2005), tanto a deficiência como o excesso de proteína na alimentação podem reduzir a ingestão dos componentes da dieta.

Nesse sentido, verificou-se que o consumo de MS de pasto, MS total, MO, PB, FDNcp, MOD, apresentaram aumento conforme se elevou o nível de atendimento da exigência protéica (70% para 100%) via suplemento, resultado esse que pode estar relacionado a proporção dos alimentos utilizados para formulação dos suplementos, como também pelo incremento na ingestão de MS de pasto observado para o maior nível de atendimento protéico.

Desse modo, o aumento no consumo de PB com o atendimento de 100% da exigência relaciona-se com o maior nível de PB do suplemento, e do incremento no consumo de MS de pasto, que Segundo Costa et al. (2015) o incremento de nitrogênio na dieta de animais consumindo forragens tropicais, favorece o crescimento de bactérias fibrolíticas, aumentando a taxa de digestão da FDN e a síntese de proteína microbiana com benefícios ao consumo de MS de pasto, total e MOD.

O atendimento de 100% da exigência protéica proporcionou aumento nos coeficientes de digestibilidade dos componentes da dieta, indicando aumento na eficiência de aproveitamento alimentar, resultado que pode ser atribuído ao aumento no fornecimento de precursores aos microrganismos via suplementação, o que comprova que o maior atendimento da exigência protéica via suplemento potencializa a digestão dos nutrientes da dieta.

A ampliação no atendimento da exigência de 70% para 100% elevou a excreção urinária de N, no entanto, a excreção de N fecal não diferiu, resultando em elevação sobre o balanço de nitrogênio (BN), o qual é obtido pela diferença entre a ingestão e excreção de N, indicando que o aumento na eficiência de utilização do N foi mais relevante que as perdas causadas pelo fornecimento de suplementos atendendo 100% da exigência protéica do animal.

De forma geral, os principais benefícios da suplementação atendendo as exigências protéicas dos animais, parecem residir sobre o incremento na deposição de nitrogênio no corpo, mensurada pelo balanço aparente de compostos nitrogenados. Neste contexto, a maior retenção de N nos animais que receberam maior nível protéico, indica maior aproveitamento do N

dietético, ocasionando maior ganho de peso, através da redução no catabolismo muscular (Detmann et al., 2014) e ampliação das atividades anabólicas (Drewnoski et al., 2014).

Segundo Hennessy & Nolan, (1988), quando o animal se encontra em uma dieta deficiente em N, o mesmo tende a reduzir a excreção desse composto, e aumenta a reciclagem para o rúmen. No entanto, se essa condição se agravar, o mesmo realizará mobilização de tecidos para sustentar a massa de N reciclada (Rufino, 2011). Dessa forma, o N disponível para o metabolismo animal seria usado para várias funções metabólicas que seguem uma ordem de prioridade para os animais ruminantes, como: sobrevivência (reciclagem de N), manutenção e produção (crescimento, produção de leite, reprodução). Então, a deposição de N como tecidos ou produtos corporais só ocorreria depois que as demandas de prioridades mais altas fossem atendidas (Detmann et al., 2014).

Porém, em uma situação alimentar na qual não haja deficiência dietética em PB, como no presente trabalho, a quantidade de nitrogênio reciclada ao ambiente ruminal tende a manter-se relativamente constante (Reynolds & Kristensen, 2008), proporcionando maior deposição de N na forma de tecido muscular. Sendo assim, a maior retenção de N pelos animais suplementados com 100% da exigência, proporcionou melhor utilização da dieta ingerida, pois, segundo Paulino et al., (2006), a maior retenção pelo animal pode ser atribuída a uma melhora na digestão da FDN com aumentos nos níveis de PB, corroborando com os resultados aqui obtidos.

## **5. Conclusão**

O fornecimento de suplemento em nível de 1,5% do PV reduz o consumo de forragem, no entanto, aumenta a quantidade total de energia ingerida em relação ao fornecimento somente de mistura mineral.

O atendimento de 100% da exigência nutricional incrementou o consumo e a digestibilidade dos nutrientes da dieta.

A utilização de monensina sódica não proporcionou melhora na utilização dos nutrientes da dieta fornecida.

**Conflito de interesse:** Não há conflito de interesse.

**Agradecimento:** A Fazenda Córrego Grande, por disponibilizar a área, animais e alimentação, para realização deste estudo.

## **6. Referências:**

Acedo, T. S.; Paulino, M. F.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Moraes, E. H. B. K.;

Figueiredo, D. M. Níveis de uréia em suplementos para terminação de bovinos em pastejo durante a época seca. *Acta Scientiarum Animal Science*, Maringá, v. **29**, n. 3, p. 301-308, 2007.

Allen, M. S.; Mertens, D. R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes.

*Journal of Nutrition*, v. **118**, n. 1, p. 261-270, 1988.

AOAC (2006). Official Methods of Analysis 19th ed. Arlington, VA, USA: *Association of Official Analytical Chemistry*.

Barbosa, A.M.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.C.; VéraS,R.M.L.; Leao, M.I.; Detmann,

E.; Paulino, M.F.; marcondes, M.I.; Souza, M.A. Effect of urinary collection days, concentrate levels and protein sources on creatinine, urea and purine derivatives excretions and microbial protein synthesis in Nellore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**35**, n.3, p. 870- 877, 2006.

- Baroni, C. E. S.; Lana, R. P.; Mancio, A. B.; Mendonça, B. P. C.; Leão, M. I.; Sverzut, C. B. Consumo e digestibilidade de nutrientes em novilhos suplementados e terminados em pasto, na seca. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. **62**, n. 2, p. 365-372, 2010.
- Batista, E.D., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Titgemeyer, E.C., Valadares, R.F.D., 2017. The effect of CP concentration in the diet on urea kinetics and microbial usage of recycled urea in cattle: a meta-analysis. *Animal* **11**, 1303-1311.
- Chen XB and Gomes MJ (1992). Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives - An overview of technical details. International Feed Research Unit. *Rowett Research Institute*, Aberdeen, UK. (Occasional publication), **21p**.
- Cavalcante, A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho. S. C.; Ribeiro, K. G. Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Bovinos de Corte: Consumo, Digestibilidade Total e Desempenho Produtivo. *Revista brasileira de Zootecnia.*, v.**34**, n.3, pg. 111-119, 2005.
- Costa, N. de L.; Monteiro, A. L. G.; Silva, A. L. P.; Moraes, A. de; Giostri, A. F.; Stivari, T. S. S.; Baldissera, T. C.; PIN, E. A. Considerações sobre a degradação da fibra em forragens tropicais associada com suplementos energéticos ou nitrogenados. *Archivos Zootecnia*, v. **64**, p.31-41, 2015.
- Detmann, E., Valente, E.E.L., Batista, E.D., Huhtanen, P., 2014. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*. **162**, 141-153.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. **62**, n. 4, p. 980-984, 2010.

- Detmann,E., Paulino,M.F. ,Mantovani,H.C., ValadaresFilho,S.C., Sampaio,C.B., Souza,M.A., Lazzarini,I., Detmann,K.S.C., 2009.Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis–Menten kinetics. *Livestock Science* **126**,136–146.
- Drewnoski, M. E.; Pogge, D. J.; Hansen, S. L. High-sulfur in beef cattle diets: A review. *Journal of Animal Science*. 2014.
- Duffield, T. F.; Merrill, J. K.; Bagg, R. N. (2012). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *Journal of Animal Science*. **90**. 4583-92.
- Ellis, W. C.; Horn,G.; Delaney, W. D; Pond, K. R.. 1983. Effects of ionophores on grazed forage utilization and their economic value for cattle on wheat pasture. In: *Proc. Natl. Wheat Pasture Symp.,Oklahoma Agric. Exp. Sta., Stillwater, OK. MP-115. p. 343–355.*
- Hall, M., 2000. Calculation of non-structural carbohydrate content of feeds that contain non-protein nitrogen. Gainesville: University of Florida, p. A-25 (Bulletin, 339).
- Hennessy, D.W.; Nolan, J.V. Nitrogen kinetics in cattle fed a mature subtropical grass hay with and without protein meal supplementation. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.**39**, p.1135-1150, 1988.
- Lima, B. S. Suplementação de alto consumo na terminação de tourinhos Nelore em pastagem de *B. brizantha* cv. Marandu. Jaboticabal, 2014 xi, 71 p. Dissertação (mestrado) - *Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias*, 2014.
- Mendes, F. B.L., Silva, R. R., Carvalho, G. G.P., Silva, F. F., Lins, T. O. J., Silva, V. M., Abreu Filho, G., Souza, S. O., Guimarães., J. O. Ingestive behavior of grazing steers fed increasing levels of concentrate supplementation with different Crude protein contentes. *Tropical Animal Health and Production*. 2014.
- Neves, D. S. B., Silva, R. R., Silva, F. F., Santos, L. V., Abreu Filho, G., Souza., S. O., Santos, M. C., Rocha, W. J., Silva, A. P. G., Lisboa, M. M., Pereira, M. M. S., Carvalho, V. M.

- Increasing levels of supplementation for crossbred steers on pasture during the dry period of the year. *Tropical Animal Health and Production*. 2018.
- Ørskov, E.R. Nutrición protéica de los ruminantes. Zaragoza: Editora Acribia, 1988. 178p.
- Paulino, M.F.; Zamperlini, B.; Figueiredo, D. M.; Moraes, E.H. B. K.; Fernandes, H.J.; Porto, M.O.; Sales, M.F.L.; Paixão, M.L.; Acedo, T.S.; Detmann, E.; Valadares Filho, S.C. Bovinocultura de precisão em pastagens. In: *Simpósio internacional de produção de gado de corte*, 1., Viçosa, MG. Anais... 2006, p.361-411.
- Porto, M.O.; Paulino, M.F.; Detmann, E.; Valadares Filho, S.C.; Sales, M.F.L.; Cavali, J.; Nascimento, M.L.; Acedo, T.S. Ofertas de suplementos múltiplos para tourinhos Nelore na fase de recria em pastagens durante o período da seca: desempenho produtivo e características nutricionais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.2548-2557, 2011.
- Reynolds, C.K.; Kristensen, N.B. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: an asynchronous symbiosis. *Journal of Animal Science*, v.86, p.E293-E305, 2008. (Electronic Supplement).
- Rotta, P.P.; et al. Exigências de proteína para bovinos de corte. In. *Sebastião de Campos Valadares Filho; et al. (Ed.). Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados – BR-Corte. 3º ed.* Viçosa: UFV, DZO, 2016.
- Rufino, L.M.A. Suplementação nitrogenada ruminal e/ou abomasal em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade. 2011. **44f.** *Dissertação* (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- Russell, J.B., Strobel, H.J. 1989. Mini-review: The effect of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.*, **55**:1-6.
- Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Lazzarini, I.; Souza, M. A.; Paulino, M. F.; VALADARES Filho, S. C. Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage

and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. **38**, n. 3, p. 560-569, 2009.

Silva-Marques, R. P. Zervoudakis , J. T., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., Cabral, L. S., Alexandrino, E., Neto, A. J., Soares, J. Q., Melo, A. C. B. Suplementos múltiplos para novilhas de corte a pasto no período seco: características nutricionais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. **36**, n. 1, p. 509-524, jan./fev. 2015.

Titgemeyer EC, Armendariz CK, Bindel DL, Greenwood RH, Loest CA (2001) Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science* **79**, 1059-1063.

Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Gomes, D. I.; Figueiras, J. F. Evaluation of rumen degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. **40**, n. 11, p. 2565-2573, 2011.

**Table 1.** Proportion of ingredients and chemical composition, depending on the level of crude protein served via supplement

Item	Crude protein requirement		
	met via supplement (%)		Pasture
	70	100	
Ground corn kernel	80.21	59.38	-
Soybean meal	17.29	38.13	-
Mineral mix <sup>1</sup>	2.5	2.5	-
Chemical composition (%)			
Dry matter	89.19	88.53	35.05
Organic matter	95.22	93.69	92.45
Mineral mix	4.25	5.6	7.95
Crude protein	15.8	22.44	7.22
Neutral detergent fiber	11.34	13.52	69.27
apNDF <sup>2</sup>	7.81	9.36	63.03
Fibra em detergente neutro indigestível	2.83	4.85	24.18
Neutral detergent insoluble protein	2.31	3.35	4.08
NDIP <sup>3</sup>	15.02	14.93	56.50
Ethereal extract	3.39	2.62	1.97
Total carbohydrates	76.45	68.62	82.85
Non-fibrous carbohydrates	68.64	59.26	19.82

<sup>(1)</sup> Warranty Level: Calcium (Ca) – g 100, Phosphor (P) – g 60, Magnesium (Mg) – g 20, Sulfur (S) – g 20, Sodium (Na) – g 135, Copper (Cu) – mg, 114, Manganese (Mn) – mg 1072, Zinc (Zn) – mg 4146, Iodine (I) – mg, 121, Cobalt (Co) – mg, 89, Selenium (Se). <sup>(2)</sup> Neutral detergent fiber corrected for ash and protein; <sup>(3)</sup> Neutral detergent insoluble protein % of crude protein.



**Table 3-** Effect of the presence or absence of monensin and the level of crude protein (%) served via supplements, on the digestibility (%) of dietary nutrients, for grazing beef cattle.

Item	MM	With monensina		Without monensin		e.p.m	Contrasts		
		70	100	70	100		A	B	C
Dry matter	48.02	58.67	61.95	59.03	61.85	0.643	< 0.0001	0.6500	< 0.0001
Organic matter	54.39	61.01	63.81	60.89	63.81	0.452	< 0.0001	0.7256	< 0.0001
Crude protein	58.04	68.82	72.05	69.05	72.00	0.797	< 0.0001	0.8072	< 0.0001
apNDF <sup>1</sup>	51.91	56.35	58.98	55.90	59.08	0.6361	< 0.0001	0.5037	< 0.0001
		Dietary concentration (g/kg DM)							
DOM	517.90	568.41	597.32	572.03	594.18	3.800	< 0.0001	0.8921	< 0.0001

A= Mineral mix x Protein-energy supplementation; B= Presence or not of monensin, C = Level CP, D\* = Interaction with or without monensin and crude protein level.

<sup>(1)</sup> Neutral detergent fiber corrected for ash and protein

**Table 4** - Effect of the presence or absence of monensin and the level of crude protein (%) served via supplements on the efficiency of use in dietary nitrogen.

Item	MM	With monensina		Without monensin		e.p.m	Contrasts		
		70	100	70	100		A	B	C
Nitrogen (g/d)									
<i>Ingested</i>	48.10	129.79	174.60	130.16	174.35	1.075	< 0.0001	0.9044	< 0.0001
<i>Urinary</i>	29.15	74.40	105.25	74.49	105.91	1.271	< 0.0001	0.5689	< 0.0001
<i>Fecal</i>	10.56	33.44	33.47	32.99	33.78	0.726	< 0.0001	0.8330	0.2265
<i>Withheld</i>	8.39	21.95	35.88	22.68	34.66	0.753	< 0.0001	0.2011	< 0.0001
Nitrogen utilization efficiency (g/g)									
<i>N Withheld /N Ingested</i>	0.17	0.17	0.21	0.17	0.20	0.014	0.0003	0.3454	< 0.0001
<i>N Withheld /N Ingested</i>	0.79	0.66	1.07	0.69	1.03	0.030	< 0.0001	0.4849	< 0.0001

A= Mineral mix x Protein-energy supplementation; B= Presence or not of monensin, C = Level CP, D\* = Interaction with or without monensin and crude protein level.

## Capítulo 2 - Predição do consumo de pasto por bovinos de corte em pastejo

**Resumo:** A utilização de modelos matemáticos para predizer o consumo de pasto pelos animais nos permite melhor planejamento da oferta de alimentos durante todo o ciclo de produção. O Objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar modelos de predição de consumo de matéria seca pasto ( $CMS_{\text{pasto}}$ ) para bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar. Para o ajuste dos modelos foram utilizadas 804 observações individuais de  $CMS_{\text{pasto}}$ , provenientes de 23 estudos de tese e/ou dissertação, realizados no Brasil entre 2006 e 2019, usando uma análise de modelos mistos, incluindo o estudo como efeito aleatório nos modelos. Para a avaliação da acurácia e precisão dos Modelos propostos e para os Modelos de Azevedo et al., (2016) e Minson e McDonald (1987), utilizou-se um banco de dados independente com 87 observações (médias de tratamentos) oriundos de vinte e um experimento que representaram 888 animais. A determinação do modelo mais adequado foi realizada através de análises gráficas e comparações do coeficiente de determinação, viés médio, quadrado médio do erro de predição, raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição e análise de coeficiente de correlação e concordância. Ajustou-se três modelos de predição para  $CMS_{\text{pasto}}$ : Modelo I (Animal), Modelo II (Animal + suplemento) e Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto). Os Modelos propostos apresentaram semelhança ( $P > 0,05$ ), para raiz do quadrado médio do erro predição. A incorporação de variáveis preditivas do suplemento alimentar (consumo de matéria seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal e consumo proteína bruta via suplemento) com as variáveis do animal (Peso médio metabólico e ganho de peso corporal) Modelo II, não melhorou a capacidade preditiva. A inclusão de variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto (Proteína bruta) ao Modelo III melhorou a acurácia e precisão, proporcionando maior coeficiente de determinação e coeficiente de correlação e concordância que os demais modelos, também se mostrou mais

acurado e preciso que o proposto por Azevedo et al., (2016) e Minson e McDonald (1987), os quais apresentaram precisão e acurácia inferior aos Modelos I, II e III propostos. Sendo assim, concluiu-se que o  $CMS_{\text{pasto}}$  pode ser estimado com maior precisão e acurácia com o Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto).

Palavras chave: Clima Tropical, modelagem, pastagem, pecuária

## 1. Introdução

Para que seja possível um planejamento eficiente do programa de alimentação, capaz de encontrar o melhor manejo alimentar para atender as exigências nutricionais, torna-se necessário prever com maior precisão e acurácia o nível de consumo voluntário por bovinos em crescimento e terminação sob alimentação *ad libitum* (Azevedo et al., 2016).

Nesse sentido, o consumo de MS de pasto ( $CMS_{\text{pasto}}$ ) é a variável que representa maior importância sobre o desempenho animal (Waldo e Jorgensen, 1981) devido ao fato de garantir ao organismo, nutrientes em quantidades adequadas para as reações bioquímicas que auxiliam nas oscilações do metabolismo celular, notadamente em bovinos criados para produção de carne (Forbes, 2007).

Em sistemas de produção de bovinos a pasto, diversas são as variáveis que influenciam o  $CMS_{\text{pasto}}$ , muitas delas impedindo que as exigências nutricionais do animal sejam atendidas. Segundo Azevedo et al. (2016), a maior parte dos nutrientes da dieta de bovinos de corte são utilizadas para suprir as exigências de manutenção e uma pequena parte destinada ao ganho de peso. Sendo assim, quando ocorrem pequenas alterações no consumo alimentar, ocasionará limitações na eficiência dos processos produtivos, resultando em menor taxa de crescimento, onerando o custo de produção.

Determinar com exatidão o consumo de matéria seca (CMS) de bovinos a pasto não é uma tarefa fácil. Coleman et al. (1999) afirmaram que o consumo altera em função tanto da

qualidade e das características físicas da forragem, como também, devido ao estado fisiológico do animal. Além desses fatores relatados, o consumo por bovinos pode sofrer influência do uso ou não da suplementação alimentar, variando conforme o nível e composição nutricional do alimento ofertado.

Sendo assim, se determinado modelo não estima de maneira adequada o  $CMS_{\text{pasto}}$  de um animal, esses fatores podem comprometer o processo produtivo, gerando prejuízos ao produtor podendo inviabilizar a atividade pecuária. Com isso, os modelos estatísticos devem ser desenvolvidos para prever, com a maior precisão e acurácia o consumo em bovinos criados em condições de pastejo.

No entanto, a maior parte dos modelos para estimar o CMS de bovinos de corte são ajustados com dados de animais em confinamento utilizando variáveis relacionadas ao animal, como o peso corporal e ganho de peso corporal diário. Contudo, as variáveis que influenciam o consumo em sistemas baseados em pastagens são mais diversas que em confinamento, o que justifica a necessidade de ajuste de novos modelos que sejam ajustados com animais criados em sistema de pasto e incluam variáveis relacionada ao animal e a dieta ingerida.

Dessa forma, nossa hipótese é de que equações mais completas, as quais incluam variáveis associadas ao animal, suplemento e o pasto, predizem melhor o  $CMS_{\text{pasto}}$ . Sendo assim, objetivou-se desenvolver e avaliar modelos de predição do  $CMS_{\text{pasto}}$  por bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar.

## **2. Material e Métodos**

### *2.1 - Banco de dados e desenvolvimento dos modelos:*

O conjunto de dados utilizado para construir os modelos de predição foi obtido a partir de observações individuais relatadas em 23 estudos provenientes de teses ou dissertações,

realizados no Brasil entre 2006 e 2019, totalizando 104 meios de tratamentos que representaram 804 animais de corte, em crescimento ou terminação.

Os critérios adotados para inclusão dos dados no conjunto foram: 1) experimento realizado em condições tropicais; 2) bovinos alimentados sob diferentes sistemas de manejo alimentar e níveis de produção; 3) medidas individuais de consumo de matéria seca; 4) estimativa da ingestão de pasto usando marcadores externos e internos; 5) descrição adequada dos animais: peso corporal, CMS, ganho de peso médio diário (GMD), dietas experimentais: ingredientes e composição química.

Os experimentos que compuseram o banco de dados para elaboração dos modelos foram realizados nas diferentes épocas do ano (seca, transição seca-águas, águas e transição águas-seca). Os mesmos foram realizados em delineamentos inteiramente casualizado. As pastagens foram divididas em diferentes piquetes, providos de bebedouros e comedouros cobertos, e uma ampla variedade de tratamentos, usando diferentes quantidades de suplementos ou composições.

Inicialmente todas as variáveis consideradas relevantes (Tabela 1) para caracterizar o trabalho foram digitadas em uma planilha, dessa maneira foi possível elaborar uma planilha de dados com as variáveis que proporcionassem o desenvolvimento de modelos e o entendimento dos resultados obtidos.

Para inclusão das variáveis independentes no modelo foi determinado os coeficientes de correlação linear *Pearson* (Tabela 3). Para permanência da variável no modelo utilizou-se o procedimento de eliminação de variáveis independentes não significativas ( $P > 0,05$ ), permanecendo os modelos reduzidos que melhor explicaram a variável dependente avaliada (Neter et al., 1990). As observações que apresentaram resíduos estudentizados maiores que 2,5 ou inferiores a -2,5 foram excluídas do banco de dados utilizado para construção dos modelos.

A estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão) para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição do CMS<sub>pasto</sub> encontram-se listadas na Tabela 1.

O desenvolvimento dos modelos de predição propostos, foram ajustados usando uma análise de modelos mistos no software Rstudio versão 3.6.2, incluindo o estudo como efeito aleatório nos modelos.

## 2.2 - Avaliação dos Modelos

Para a avaliação da acurácia e precisão dos modelos propostos, e para os modelos de Azevedo et al., (2016) e Minson e McDonald (1987), utilizou-se um banco de dados independente, com 87 observações (médias de tratamentos) oriundos de vinte e um experimentos que representaram 888 animais. Para isso, uma pesquisa bibliográfica foi conduzida usando os banco de dados de [Web of Science (<https://login.webofknowledge.com>)], PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), Google Acadêmico (<http://www.scholar.google.com>), Scielo (<https://scielo.org/>). (Apêndice A).

A avaliação da acurácia e precisão dos modelos desenvolvidos e dos já disponíveis na literatura (Tabela 4) foi realizada por meio das análises de regressão linear simples dos valores observados (Y) com aqueles preditos (X), utilizando-se os seguintes procedimentos: análise gráfica dos valores observados *versus* preditos, coeficiente de determinação, quadrado médio do erro de predição (QMEP), raiz quadrada do QMEP, e análises de coeficiente de correlação de concordância (CCC) usando o Model Evolution System (College Station, TX; <http://nutritionmodels.tamu.edu/mes.html>), conforme descrito por Tedeschi (2006).

O QMEP foi decomposto em três fontes de erros: 1) o erro devido ao viés, o modelo mais acurado é aquele que possui um viés médio mais próximo do valor zero; 2) erro devido à

inclinação da regressão entre valores observados e preditos ser diferente de 1 e 3) o erro aleatório. O erro aleatório representa o erro que não é explicado pelo modelo (Bibby e Toutenburg, 1977).

A utilização do QMEP é frequentemente usada para verificar a acurácia de um modelo. Segundo Wilks (2006), por elevar as diferenças individuais ao quadrado torna-se sempre positivo, onde um QMEP = 0, indica uma predição perfeita. E pode ser definido como:

$$QMEP = \sum (Observado - Predito)^2 / n$$

Em adição ao QMEP, a raiz quadrada do QMEP (RQMEP), é comumente usada para expressar a acurácia dos resultados, com a vantagem que está apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. A RQMEP é definido por:

$$RQMEP = \sqrt{\sum (Observado - Predito)^2 / n}$$

Cujos valores foram expressos em kg/dia e em % do CMS<sub>pasto</sub> observado, e seu intervalo de confiança com erro tipo I de 5%, conforme proposto por Vieira (2017).

O CCC foi dividido em coeficiente de correlação, indicando a acurácia ( $\rho$ ) e fator de correção do viés, indicando a precisão ( $C_b$ ). Os valores de  $\rho$  e  $C_b$  variam de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando maior precisão e exatidão (Lin, 1989; King e Chinchilli, 2001; Liao, 2003).

A estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão), para todas as variáveis utilizadas na avaliação das equações de predição do CMS<sub>pasto</sub> encontram-se listadas na Tabela 2.

### 3. Resultados

#### 3.1 - Banco de Dados

O banco de dados utilizado para desenvolver (Tabela 1) e avaliar (Tabela 2) os modelos de  $CMS_{\text{pasto}}$  representaram ampla gama das características de bovinos de corte e das dietas utilizadas. Além disso, o conjunto de dados foi representativo dos sistemas de gado corte, os quais utilizam suplementação alimentar durante as fases de crescimento dos animais.

A estatística descritiva dos animais e das dietas utilizadas, para ajustar e avaliar os modelos foram próximos, indicando que os dois subconjuntos foram adequados (Tabelas 1 e 2) para o desenvolvimento e avaliação dos mesmos. O mesmo procedimento de avaliação foi aplicado nos modelos já publicados.

#### 3.2 - Desenvolvimento dos modelos de predição

Nos três modelos propostos para  $CMS_{\text{pasto}}$  foram ajustadas ( $P < 0,05$ ) as variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto (Tabela 4). No Modelo I foram ajustados ( $P < 0,05$ ) o peso médio metabólico ( $PM^{0,75}$ ) e GMD. No Modelo II, foram ajustadas ( $P < 0,05$ ) além das variáveis do Modelo I informações relacionadas ao suplemento (consumo de matéria seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal e consumo de proteína bruta (PB) via suplemento em Kg/dia). No Modelo III foram ajustados ( $P < 0,05$ ) as variáveis do Modelo II mais informações relacionada ao pasto, sendo a PB.

A fibra em detergente neutro (FDN) apresentou baixa correlação com  $CMS_{\text{pasto}}$ , além de não apresentar significância durante o processo de eliminação das variáveis independentes não significativas, por esse motivo não foi utilizada para o ajuste dos modelos.

O efeito de estudo foi considerado como aleatório em todos os modelos, pois segundo Pierre (2001), quando se faz a inclusão nas análises, as equações geradas tornam-se mais

precisas. O efeito de raça, sexo e suas interações foram testados, porém não foi observada significância ( $P > 0,05$ ) nas análises, assim sendo, não foram propostos modelos separados.

Os Modelos propostos I (Animal) e III (Animal + Suplemento + pasto) apresentaram resultados não significativos para o intercepto e inclinação da reta ( $P > 0,05$ ) (Tabela 5) indicando que os mesmos podem ser utilizados para prever o  $CMS_{\text{pasto}}$ . No entanto o Modelo II (Animal + Suplemento), apresentou resultados significativos para o intercepto e inclinação da reta ( $P < 0,05$ ), indicando que não é adequado para estimar o  $CMS_{\text{pasto}}$ .

### 3.3 - Avaliação dos modelos

Os modelos propostos foram capazes de explicar de 45% a 52% ( $R^2$ ) das variações entre os valores observados e preditos (Tabela 5).

O Modelo I (Animal) apresentou o segundo menor viés médio de predição (subestimou em 0,10 kg/dia, Tabela 5, figs 1 e 2), menor acurácia ( $\rho = 0,68$ ) e precisão ( $C_b = 0,85$ ) ocasionando menor CCC (0,58), além disso, obteve o maior QMEP (1,37), e semelhante ( $P > 0,05$ ) RQMEP (24,32% do  $CMS_{\text{pasto}}$  observado) em relação aos Modelos II e III. Durante a decomposição do QMEP, indicou que esse modelo apresenta grande parte dos erros não correlacionados, pois a falta de correlação contabilizada pelo erro aleatório foi de 96,73% e o viés médio foi responsável por somente 0,68% do erro de predição.

O modelo II (Animal + Suplemento) apresentou o menor viés da média (0,08 kg/d), intermediária precisão ( $C_b = 0,84$ ), e acurácia ( $\rho = 0,71$ ) ocasionando o segundo melhor CCC (0,60) quando comparado com o Modelo I e III. Na partição do QMEP apresentou menor participação do erro aleatórios (93,71%) e menor erro associado ao viés médio (0,53%). No entanto durante a avaliação apresentou resultado significativo ( $P < 0,05$ ) para intercepto e inclinação da reta, indicando que não há similaridade entre o  $CMS_{\text{pasto}}$  observado e preditos pelo modelo.

O Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto) apresentou o viés de predição semelhante ao Modelo I (subestimou em 0,10 kg/dia), maior acurácia ( $\rho = 0,72$ ) e precisão ( $C_b = 0,87$ ) ocasionando maior CCC (0,63), além disso obteve o menor QMEP (1,23), e semelhante ( $P > 0,05$ ) RQMEP (23,07% do  $CMS_{\text{pasto}}$  observado) em relação aos Modelos I e II. Além disso, durante a decomposição do QMEP, indicou que esse modelo apresenta grande parte dos erros não correlacionados, pois a falta de correlação contabilizada pelo erro aleatório foi de 95,59% e o viés médio foi responsável por somente 0,88% do erro de predição.

O modelo proposto por Azevedo et al. (2016), estimou  $CMS_{\text{pasto}}$  com maior viés médio (-0,290 kg/d), menor CCC (0,52),  $\rho$  (0,53) e  $C_b$  (0,98) e maior ( $P \leq 0,05$ ) RQMEP (33,98% do  $CMS_{\text{pasto}}$  observado), que os modelos propostos, além disso, apresentou resultado significativo ( $P < 0,05$ ) para intercepto e inclinação da reta, o que indica que de fato o modelo não tendeu a ser paralelos às linhas  $Y = X$ , concluindo que não houve similaridade entre os valores preditos e observados.

Durante a avaliação o Modelo proposto por Minson e McDonald (1987), apresentou maior viés médio (-0,790 kg/d), menor  $\rho$  (0,65) e  $C_b$  (0,78) ocasionando menor CCC (0,50). Além disso, apresentou maior ( $P \leq 0,05$ ) RQMEP (29,73% do  $CMS_{\text{pasto}}$  observado), que os modelos propostos.

#### **4. Discussão**

A predição do  $CMS_{\text{pasto}}$  para animais em pastejo é complexa e é dependente de vários fatores. Coleman, Lippke e Gill (1999) verificaram que o consumo de pasto varia em função da qualidade, características físicas da forragem e é inerente ao estado fisiológico do animal, assim como das condições ambientais. Desse modo, as interações a serem consideradas como estimativas para a predição são mais complexas que a de animais alimentados em regime de confinamento (Azevêdo et al., 2016).

Quando analisamos o coeficiente de determinação proporcionado pelos Modelos proposto para  $CMS_{\text{pasto}}$ , observamos que não apresentaram valores altos, no entanto, é errôneo dizer que um  $R^2$  não elevado indica baixa correlação entre os valores observados e preditos, pois, essa relação pode ser curvilínea (Tedeschi, 2006). Nesses casos o ideal é submeter os dados a outras análises, para verificar a acurácia e precisão entre os valores observados e preditos.

Desse modo, verificou-se que os Modelos I e III, apresentaram resultados próximos, onde não houve diferença ( $P > 0,05$ ) para a RQMEP indicando que ambos os modelos podem ser adequados para prever o  $CMS_{\text{pasto}}$ . Apesar do Modelo II, apresentar o menor viés da média, e demais resultado intermediário quando comparado com os Modelos I e III, seu intercepto foi diferente de zero e a inclinação foi diferente da unidade, indicando falta de adequação entre o  $CMS_{\text{pasto}}$  observado e o predito, não sendo recomendado sua utilização.

Além da RQMEP, outras medidas têm sido utilizadas para avaliação de modelos, pois a avaliação deve ser baseada em diversas medidas que avaliem precisão, acurácia e adequação, onde única medida pode não resultar na melhor decisão. Entre essas temos CCC, o qual é igualmente conhecido com índice de reprodutibilidade pois considera simultaneamente a exatidão e precisão de um modelo. Nesse sentido, durante as análises o Modelo III apresentou maior CCC indicando melhor ajuste.

O Modelo I, forneceu em geral previsões aceitáveis do  $CMS_{\text{pasto}}$ . No entanto, como esse modelo apresentou similaridade para viés médio e RQMEP com Modelo III, porém menor CCC, torna seu uso mais limitado. Desse modo, a hipótese que o uso de modelos mais completos, o qual inclui variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto predizem melhor o  $CMS_{\text{pasto}}$  pode ser confirmado. Sendo assim, por apresentar proximidade da RQMEP com os Modelo I, maior CCC e baixo viés médio, o Modelo III pode ser considerado o mais apropriado para prever o  $CMS_{\text{pasto}}$ .

Embora o Modelo proposto por Azevedo et al., (2016) tenha sido desenvolvido utilizando observações de bovinos de corte criados no Brasil, a qualidade de sua predição no  $CMS_{\text{pasto}}$  foi inferior aos modelos propostos e de Minson e McDonald (1987). Além disso, esse modelo apresentou resultado significativo para intercepto e inclinação da reta ( $P < 0,05$ ), mostrando não ser adequado para predição do  $CMS_{\text{pasto}}$ .

Destaca-se que o Modelo proposto por Azevedo et al. (2016), foi ajusto usando o consumo de matéria seca total e não o  $CMS_{\text{pasto}}$  o que pode ter levado a essa menor capacidade preditiva e resultado significativo para intercepto e inclinação da reta ( $P < 0,05$ ), indicando falta de adequação entre  $CMS_{\text{pasto}}$  observado e  $CMS_{\text{pasto}}$  predito.

O Modelo proposto por Minson e McDonald (1987), não estimou adequadamente o  $CMS_{\text{pasto}}$ . Apesar do intercepto entre o  $CMS_{\text{pasto}}$  observado e o predito pelo modelo não ser diferente de zero e a inclinação não ser diferente da unidade, esta equação explicou 41% da variação do  $CMS_{\text{pasto}}$ , e superestimou o consumo em 16,4%, além de apresentar o menor CCC e baixa participação do erro aleatório durante a partição do QMEP em comparação aos modelos ajustados.

Está menor capacidade preditiva pode estar relacionada a não inclusão no Modelo de variáveis relacionadas ao suplemento e ao pasto consumido pelos animais, podendo afetar a qualidade de predição, similar ao verificado para o Modelo I, o qual inclui somente variáveis relacionadas ao animal, onde também apresentou uma menor capacidade preditivas que o modelo mais completo, o qual ajustou variáveis relacionadas ao animal, suplemento e pasto.

O estresse por calor pode causar redução no consumo dos animais ocasionando impacto negativo no desempenho (West, 2003). Porém, devido a maioria dos trabalhos publicados não reportarem variáveis relacionadas as condições climáticas, não foi possível sua inclusão no ajuste dos modelos, o qual poderia melhorar a predição. No entanto, quando as condições ambientais estão fora da zona de conforto térmico devido ao aumento da temperatura

do ar e do índice temperatura-umidade, o  $CMS_{\text{pasto}}$  e a eficiência da alimentação diminuem substancialmente (West, 2003).

Através dos resultados obtidos pode ser confirmada a maior complexidade dos fatores que afetam o CMS em sistemas de bovinos de corte criados a pasto e o maior desafio em predizê-lo nestas condições. Isto mostra que há outros fatores além dos avaliados neste estudo que devem ser identificados e acrescentados nos modelos de predição futuros.

Podem ser destacados dois principais fatores que ajudam a explicar a maior dificuldade em predizer o  $CMS_{\text{pasto}}$ : 1) maior complexidade dos fatores que afetam a ingestão, como oferta de forragem, características estruturais e morfológicas do pasto, (Stobes, 1973; Carvalho et al., 2007); 2) Dificuldades em medir o  $CMS_{\text{pasto}}$  sob condições de pastejo e ao fato de os testes de pastejo muitas vezes não levarem em conta a seleção da dieta, além da representatividade da amostra de pasto efetivamente consumidos pelos animais, Lopes (2008).

A seletividade do animal pode influenciar negativamente no  $CMS_{\text{pasto}}$ , pois o animal gasta uma grande parcela do seu tempo à procura de alimentos de melhor qualidade (Cosgrove, 1997). Aliado a esse fato, quando o animal encontra algum tipo de limitação na colheita do pasto e/ou pouca oferta de forragem, ele aumenta a taxa de bocado e o tempo de pastejo, o que acaba interferindo no  $CMS_{\text{pasto}}$ , variável está de difícil inclusão nos modelos predição, podendo interferir nos resultados encontrados.

## **5. Conclusão**

O Modelo ajustado com variáveis relacionadas ao animal, suplemento e pasto melhorou a predição do  $CMS_{\text{pasto}}$  em relação à modelos mais simples.

Para predição do  $CMS_{\text{pasto}}$ , nós recomendamos o uso Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto) que utiliza peso metabólico, ganho de peso corporal, consumo de matéria

seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal, consumo de proteína bruta via suplemento e nível de proteína bruta do pasto.

Nossos modelos propostos para prever  $CMS_{\text{pasto}}$  apresentam maior acurácia e precisão que os modelos vigentes de Azevedo et al., (2016) e de Minson e McDonald (1987).

**Conflito de interesse:** Não há conflito de interesse.

**Agradecimento:** Ao grupo NPleite, em especial ao Rodrigo Torres da Universidade Federal de Mato Grosso Campus de Sinop, pelo auxílio na elaboração das planilhas para análise dos dados.

## 6. Referências bibliográficas

- Azevêdo, J.A.G.; Valadares Filho, S.C.; Costa e Silva, L.F., et al. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados, BR-Corte 3ª edição Viçosa, MG: UFV 2016.
- Bibby, J., D. and H. Toutenburg. 1977. Prediction and improved estimation in linear models. John Wiley & Sons, Berlin, Germany.
- Carvalho, P.C.F.; Kosloski, G.V.; Ribeiro Filho, H.M.N.; Reffatti, M.V.; Genro, T.C.M.; Euclides, V.P.B. 2007. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, suplemento especial, p.151-170.
- Coleman, S. W.; Lippke, H.; Gill, M. Estimating the nutritive potential of forages. In: Jung, H. G., Fahey Jr., C. G. (Ed.) Nutritional ecology of herbivores: Proc. Vth Int. Symp. Nutr. Herbivores. Am. Soc. Anim. Sci., Savoy, IL, 647–695, 1999.
- Cosgrove, G. Grazing behaviour and forage intake. In: Simpósio internacional sobre produção animal em pastejo, 1., 1997, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 59-80.

- Forbes, J. M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*, 20:132-146, 2007.
- King, T. S., and V. M. Chinchilli. 2001. Robust estimator of the concordance correlation coefficient. *J. Biopharm. Stat.* 11:83–105.
- Liao, J. J. Z. 2003. An improved concordance correlation coefficient. *Pharm. Stat.* 2:253–261.
- Lin L. I. K. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 45: 255-268.
- Lopes, F. C. F. 2008. Consumo de forrageiras tropicais por vacas em lactação sob pastejo em sistemas intensivos de produção de leite. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, v. 57, p. 67-117.
- Minson, D. J. and McDonald, C. K. 1987. Estimating forage intake from the growth of beef cattle. *Trop. Grassl.* 21: 116-122.
- Neter, J.; Wasserman, M.H. Kutner. 1990. *Applied Linear Statistical Models*. 3 ed. Homewood, IL.
- Stobs, T. H. 1973. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. I - Variation in the bite size of grazing cattle. *Aust J Agric Res*, v.24, p.809- 819
- St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755, 2001.
- Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric. Syst.* 89:225-247.
- Vieira, F.J.G. Fatores que afetam o consumo de matéria seca de vacas leiteiras. (Dissertação Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Mato Grosso-Sinop, 81p. 2017
- Waldo, D. R.; Jorgensen, N. A. Forages for high animal production: nutritional factors and effects of conservation. *Journal of Dairy Science*, 64:1207-1229, 1981.

West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.

Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International Geophysics Series. 2a. Edição, Estados Unidos da América, Academic Press, v. 91, 2006. 627 p.

**Table 1-** Descriptive statistics of the variables used to develop equations to predict pasture dry matter intake, for beef cattle reared on pasture by supplementation.

Item	$n^1$	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
Body weight, Kg	804	294.50	281.8	80.0	590.0	99.3
Metabolic body weight, Kg	804	70.41	68.67	26.75	119.71	18.2
Average daily gain, kg/dia	804	0.40	0.40	-0.22	1.11	0.24
Intake Kg/d						
Dry matter total	804	5.70	5.42	1.67	12.03	2.04
Dry matter Pasture	804	4.99	4.70	1.35	11.52	1.90
CP supplement	804	0.21	0.19	0.00	1.19	0.17
Dry matter Supplement	804	0.70	0.62	0.00	3.66	0.59
Dry matter Supplement % BW	804	0.25	0.23	0.00	1.41	0.13
Pasture (%)						
Crude protein Pasture	804	8.15	8.10	4.23	12.66	2.15
Neutral detergent fiber	804	64.65	65.00	59.54	73.37	3.37

$n^1$ : number individual observations; SD: standard deviation.

**Table 2.** Descriptive statistics of the averages for variables used in the evaluation of pasture dry matter intake prediction equations for cattle raised on pasture.

Item	<i>n</i> <sup>1</sup>	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
Body weight, Kg	87	268.1	255.40	125.00	448.5	70.46
Metabolic body weight, Kg	87	65.83	63.89	37,55	97.46	12.93
Average daily gain, kg/dia	87	0.53	0.52	0.09	0.97	0.20
Intake Kg/d						
Dry matter total	87	5.95	5.75	3.02	9,91	1.74
Dry matter Pasture	87	4.91	5.01	1.44	9.27	1.70
CP supplement	87	0.22	0.20	0.00	0.75	0.18
Dry matter Supplement	87	0.88	0.82	0.00	4.08	0.82
Dry matter Supplement % BW	87	0.32	0.30	0.00	1.55	0.27
Pasture (%)						
Crude protein Pasture	87	8.14	7.9	4.3	13.3	2.26
Neutral detergent fiber	87	64.57	65.20	52.13	84.30	8.87

*n*<sup>1</sup>: treatment mean; SD: standard deviation.

**Table 3.** Pearson's correlation coefficients for the relationships between the explanatory variables in the data set to fit the models

Item <sup>1</sup>	BW <sup>0.75</sup>	ADG	DMI <sub>total</sub>	DMI <sub>pasture</sub>	CCPs	DMIs	DMIs(% BW)	CPp	NDFp
BW	0.990	-0.125	0.752	0.747	0.161	0.201	-0.137	-0.346	0.327
BW <sup>0.75</sup>		-0.131	0.756	0.749	0.168	0.207	-0.135	-0.345	0.327
ADG			0.086	0.036	0.177	0.181	0.220	0.378	-0.187
DMI <sub>total</sub>				0.957	0.364	0.383	0.109	-0.075	0.171
DMI <sub>pasture</sub>					0.100	0.099	-0.162	-0.050	0.167
CCPs						0.932	0.849	-0.039	0.032
DMIs							0.895	-0.098	0.053
DMIs (% BW)								0.005	-0.064
CPp									-0.6631

<sup>1</sup> BW = body weight ; BW<sup>0.75</sup> = metabolic body weight; ADG = average daily gain; DMI<sub>total</sub> = total dry matter consumption; DMI<sub>pasture</sub> = dry matter consumption pasture; CCPs = crude protein intake via supplement; DMIs = supplement dry matter intake; DMIs %BW = consumption of dry matter supplement in% of body weight; CPp = crude protein from pasture; NDFp = neutral detergent fiber pasture.

**Table 4** - Prediction models of pasture dry matter intake for beef cattle reared on pasture using food supplementation.

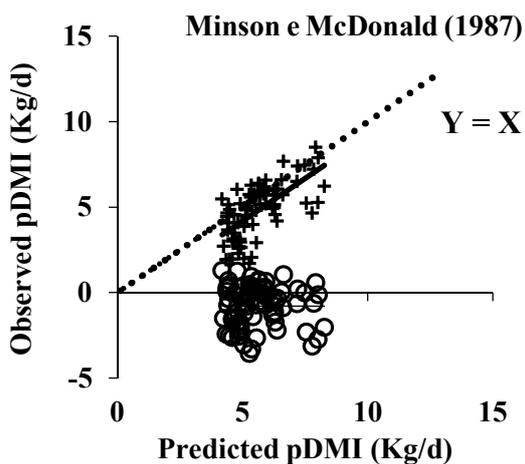
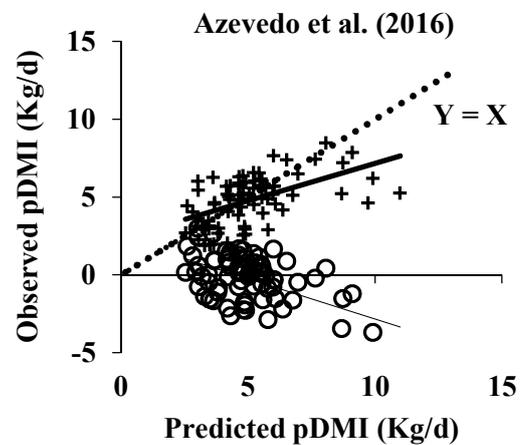
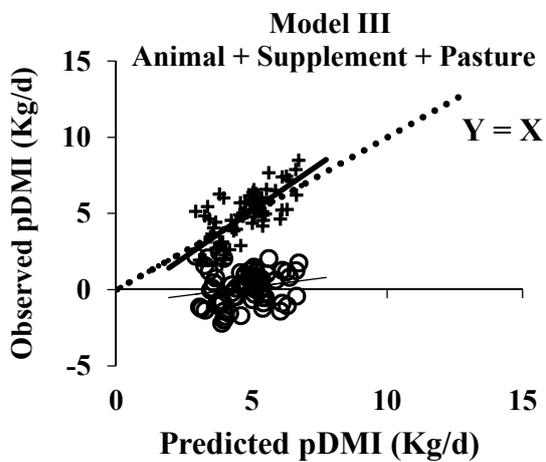
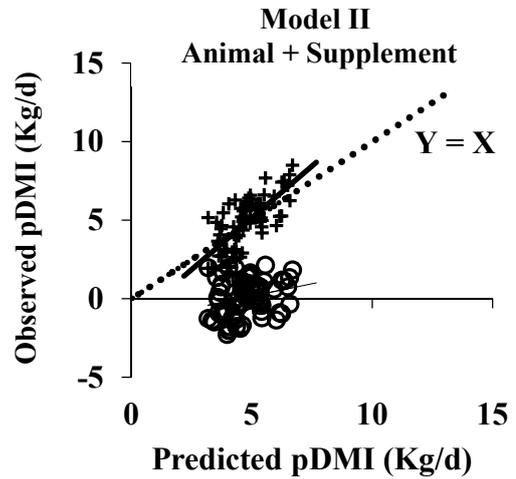
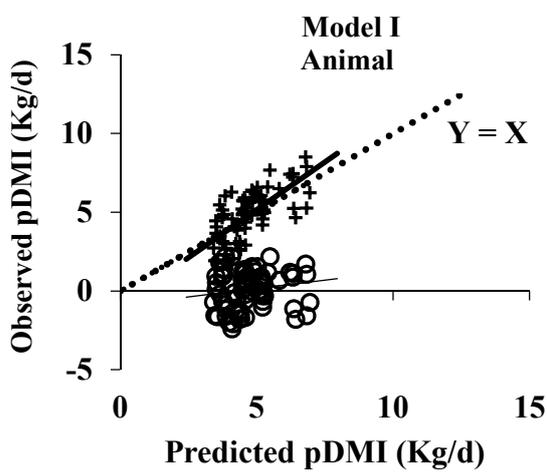
Models	Equations
<b>Prediction Equations de DMI<sub>pasture</sub></b>	
Azevedo et al. (2016)	$DMI = -1.912 + (0.900 \times DMIs) + (0.094 \times BW^{0.75}) + (1.070 \times ADG) - (1.395 \times ADG^2)$
Minson e McDonald (1987)	$DMI = (1.185 + (0.00454 \times BW) - (0.0000026 \times BW^2) + (0.315 \times ADG))^2$
<b>Model proposed</b>	
Model I	$DMI_{pasture} = 0.055 + (0.069 \times BW^{0.75}) + (0.304 \times ADG)$
Model II	$DMI_{pasture} = 0.387 + (0.065 \times BW^{0.75}) + (0.399 \times ADG) - (1.164 \times DMIs\%BW) + (1.199 \times ICPs)$
Model III	$DMI_{pasture} = -1.510 + (0.067 \times BW^{0.75}) + (2.997 \times ADG) - (1.110 \times DMIs\%BW) + (1.143 \times ICPs)$ $+ (0.231 \times CPp) - (0.341 \times ADG \times CPp)$

DMIs %BW = Consumption of dry matter supplement (kg / day) as a function of % body weight; ADG = Average daily gain;  $BW^{0.75}$  = Metabolic body weight; CCPs = Crude protein intake via supplement; CPp = Crude protein from pasture.

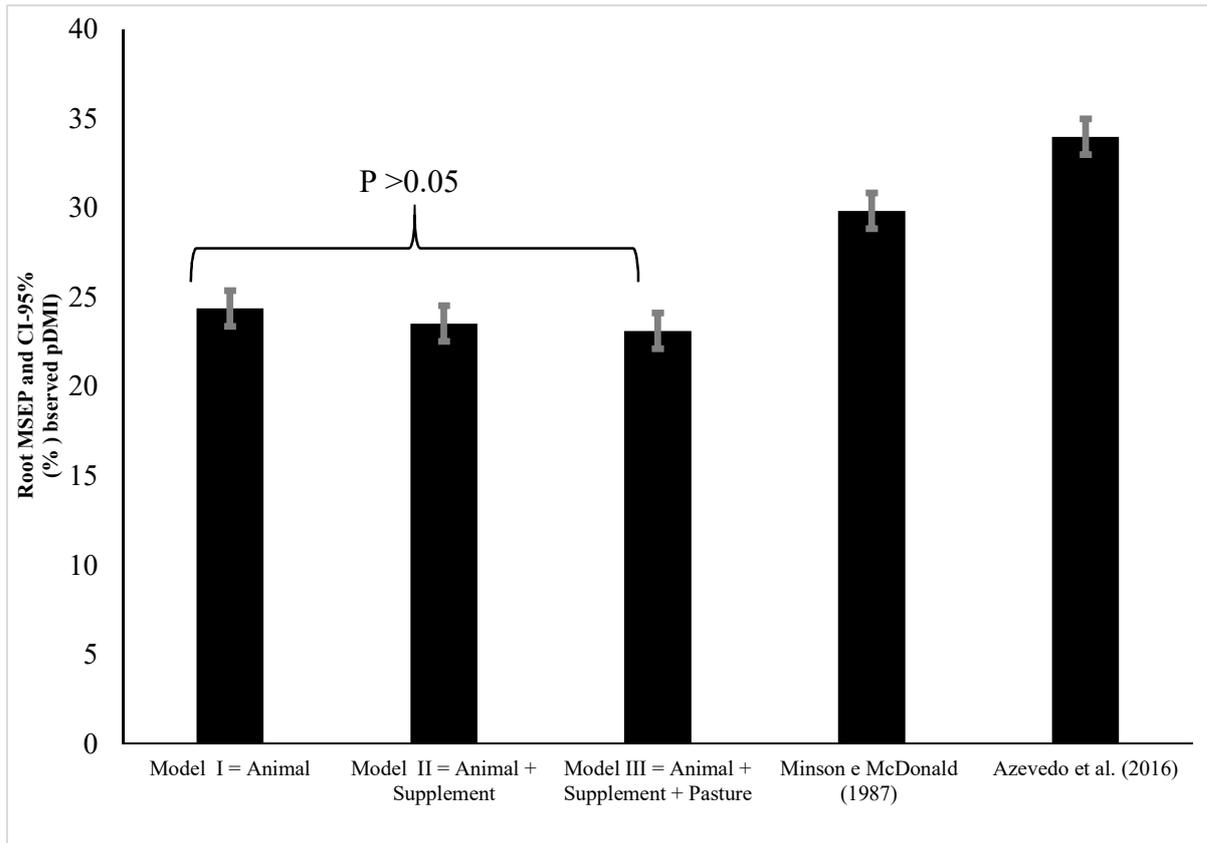
**Table 5.** Statistics for the relationship between observed (Y) and predicted (X) values by the proposed models, Azevedo et al., (2016) and Minson and McDonald (1987), for prediction of pasture dry matter intake (pDMI) by cattle raised on pasture using food supplementation.

Itens	Model				
	Model I	Proposed Model II	Model III	Azevedo et al. (2016)	Minson and McDonald (1987)
Observed DMI (Y), kg/d	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
Predicted DMI (X), kg/d	4.71	4.73	4.71	5.10	5.60
Mean bias (Y – X), kg/d	0.10	0.08	0.10	-0.29	-0.79
Intercept	-0.8965	-1.4215	-0.9563	2.351	-0.7629
<i>P</i> -Value ( $H_0, \beta_0 = 0$ )	0.2172	0.0460	0.1407	<.0001	0.3176
Slope	1.2111	1.3181	1.2255	0.482	0.9945
<i>P</i> -Value ( $H_0, \beta_1 = 1$ )	0.1638	0.0326	0.0962	<.0001	0.9676
( $r^2$ )	0.45	0.51	0.52	0.27	0.41
MSEP1, kg × kg	1.37	1.28	1.23	2.68	2.06
Root MSEP, kg/d	1.17	1.13	1.11	1.64	1.43
Partition of MSEP, %					
Error due to mean bias	0.68	0.53	0.88	3.08	29.74
Error due to slope not equal to 1	2.48	5.76	3.54	29.70	0.0
Random error	96.73	93.71	95.59	67.22	70.25
CCC <sup>2</sup> (0 a 1)	0.58	0.60	0.63	0.52	0.50
$\rho^3$ (0 a 1)	0.6815	0.7190	0.7241	0.53	0.6510
Cb <sup>4</sup> (0 a 1)	0.8523	0.8390	0.8733	0.9800	0.7800

MSEP = Mean squared error of prediction; <sup>2</sup>CCC = Coeficiente de correlação e concordância;  $\rho^3$  = Correlation coefficient estimate (precision); Cb<sup>4</sup> = Bias correctionfator(accuracy).



**Figure 1-** Relationship between observed (asterisk) and residual (observed – predicted; circles) pasture dry matter intake (pDMI) values, with predicted DMI values for beef cattle under grazing system using Models I (Animal), II (Animal + Supplement), III (Animal + Supplement + Pasture).



**Figure 2** –Values of the mean square root of the prediction error (MSPE) and its confidence interval (95% CI) of the predictive models of pasture dry matter intake (pDMI) (Tables 4) for cattle to be cut to pasture.

## 7. Apêndice

### Appendix A - Authors, year, title and journals in which the works used to evaluate the proposed equations were published

Almeida et al. (2018)	Soybean grain is a suitable replacement with soybean meal in multiple supplements for Nelore heifers grazing tropical pastures	Tropical Animal Health and production
Almeida et al. (2018)	Supplementation strategies for Nelore female calves in creep feeding to improve the performance: nutritional and metabolic respon	Tropical Animal Health and production
Barbosa et al. (2007)	Desempenho e consumo de matéria seca de bovinos sob suplementação proteico energética, durante a época de transição água-seca	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia
Dias et al. (2015)	Recria de novilhos em pastagem com e sem suplementação proteico/ energética nas águas: consumo, digestibilidade dos nutrientes e desempenho	Semina: Ciências Agrárias
Fernandes et al. (2012)	Avaliação nutricional, durante a amamentação, de tourinhos em pastejo recebendo suplementação proteica da amamentação à terminação	Revista Brasileira de Zootecnia
Figueiredo et al. (2011)	Levels of ground corn supplied to beef heifers at pasture during the rainy season: productive performance, intake, digestibility and microbial efficiency	Revista Brasileira de Zootecnia
Goes et al. (2005)	Recria de Novilhos Mestiços em Pastagem de Brachiaria brizantha, com Diferentes Níveis de Suplementação, na Região Amazônica. Consumo e Parâmetros Ruminais	Revista Brasileira de Zootecnia
Goes et al. (2010)	Suplementação proteica e energética para novilhos em recria, durante o período da seca	Revista brasileira de saúde e produção animal
Lima et al. (2012)	Suplementação de novilhos Nelore sob pastejo, no período de transição águas-seca	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia
Lopes et al. (2017)	Avaliação de planos de suplementação para bezerros de corte lactentes manejados em pasto tropical	Semina: Ciências Agrárias
Martins et al. (2015)	Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para novilhas Nelore em pastejo na época seca	Semina: Ciências Agrárias
Mateus et al. (2011)	Suplementos para recria de bovinos Nelore na época seca: desempenho, consumo e digestibilidade dos nutrientes	Acta Scientiarum. Animal Sciences

Continuation of **Appendix A** - Authors, year, title and journals in which the works used to validate the proposed equations were published

Mendes (2011)	Níveis de suplementação em dietas de novilhos terminados em pastagens	Tese : Universidade Estadual do sudeste da Bahia
Neves et al. (2018)	Increasing levels of supplementation for crossbred steers on pasture during the dry period of the year	Tropical Animal Health and production
Ortega et al. (2016)	Quantities of supplements for grazing beef heifers in the dry-rainy transition season	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)- Fase1- águas-seca	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)- Fase2 - Secas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)-Fase3 - transição seca-águas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)-Fase4 - Águas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
Prado et al. (2010)	Novilhos nelore suplementados em pastagens: consumo, desempenho e digestibilidade	Acta Scientiarum. Animal Sciences
Sales et al. (2011)	Supplementation levels for growing beef cattle grazing in the dry-rainy transition season	Revista Brasileira de Zootecnia

### Capítulo 3 - Predição do consumo de matéria seca de bovinos de corte em pastejo

**Resumo:** Objetivou-se com o presente trabalho desenvolver e avaliar modelos de predição de consumo de matéria seca total ( $CMS_{total}$ ) para bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar. Para ajuste dos modelos foram utilizadas 804 observações individuais de  $CMS_{total}$ , provenientes de 23 estudos de teses ou dissertações realizadas no Brasil, entre 2006 e 2019, usando análise de modelos mistos, incluindo o estudo como efeito aleatório nos modelos. Para avaliação da acurácia e precisão dos modelos propostos e para os modelos I, II, III, IV de Azevedo et al., (2016), utilizou-se um banco de dados independente com 87 observações (médias de tratamento) oriundos de vinte e um experimentos que representaram 888 animais. A determinação do modelo mais adequado foi realizada através de análises gráficas e comparação do coeficiente de determinação, viés médio, quadrado médio do erro de predição, raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição e análise de coeficiente de correlação e concordância. Ajustou-se três modelos de predição para  $CMS_{total}$ : Modelo I (Animal), Modelo II (Animal + suplemento) e Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto). Os Modelos propostos apresentaram semelhança ( $P > 0,05$ ), para raiz do quadrado médio do erro de predição. A incorporação de variáveis preditivas do suplemento alimentar (consumo de matéria seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal e consumo proteína bruta via suplemento kg/dia) com as variáveis do animal (Peso médio metabólico e ganho de peso corporal) Modelo II, melhorou a capacidade preditiva do modelo. A inclusão de variáveis associada ao pasto (Proteína bruta) Modelo III não melhorou a acurácia e precisão. Entre os Modelos propostos o Modelo II (Animal + Suplemento) apresentou baixo viés médio além de maior coeficiente de correlação e concordância que os demais modelos indicando ser o modelo mais adequado para predição do  $CMS_{total}$ . Além disso, se mostrou mais acurado e preciso que os Modelos propostos por Azevedo et al., (2016), os quais apresentaram menor capacidade

preditiva, com maior viés médio e baixo coeficiente de correlação e concordância. Sendo assim concluiu-se que o  $CMS_{total}$  pode ser estimado com maior precisão e acurácia com o Modelo II (Animal + Suplemento).

Palavras chave: Clima Tropical, modelagem, pasto, pecuária, suplemento

## 1. Introdução

A produção de bovinos de corte está altamente correlacionada com o consumo de matéria seca (CMS). Segundo Mertens (1994), de 60 a 90% das variações no desempenho animal são explicadas pelo consumo e somente 10 a 40% por efeitos atribuídos às características de valor nutritivo do alimento. Sendo assim, pequenas alterações no consumo dos animais podem refletir diferentes repostas produtivas.

Desse modo, para um planejamento zootécnico adequado o primeiro passo é o conhecimento da ingestão diária de alimentos pelos animais, para que seja possível determinar o tamanho da área de pastagens, bem como no controle de estoques de alimentos, além auxiliar na identificação e seleção de animais de melhor eficiência alimentar, aumentando a produtividade e reduzindo os custos de produção, sem afetar os índices zootécnicos (Mercadante e Grion, 2013).

Em sistemas de produção de bovinos a pasto, diversas são as variáveis que influenciam o CMS, muitas delas impedindo que as exigências nutricionais do animal sejam atendidas. De acordo com Azevedo et al (2016), uma grande parte dos nutrientes da dieta dos animais são utilizadas para suprir as exigências de manutenção e uma pequena parte destinada ao ganho de peso, sendo assim, quando ocorrem alterações no consumo alimentar, acarretará limitações na eficiência dos processos produtivos, resultando em menor taxa de crescimento.

Determinar com exatidão o CMS de bovinos a pasto não é tarefa fácil, devido ser alterado em função tanto da qualidade e das características físicas da forragem, como também,

devido ao estado fisiológico do animal, (Coleman et al. 1999). Além desses fatores relatados, o consumo por bovinos pode sofrer influência do uso ou não da suplementação alimentar, variando conforme o nível e composição nutricional do alimento ofertado.

Devido esses fatores, estimar o CMS de animais em pastejo apresenta desafios, e os métodos atuais carecem de precisão, pois, a maior parte dos modelos ajustados para prever o CMS de bovinos de corte utilizaram dados de animais em regime de confinamento. Contudo, as variáveis que influenciam o consumo em sistemas baseados em pastagens são maiores, justificando a necessidade de ajuste de novos modelos que sejam ajustados com animais produzidos em sistema de pasto, e incluam variáveis relacionada ao animal e a dieta ingerida, para que seja possível entender a relação dos parâmetros do alimento ofertado com a produtividade animal.

Dessa forma, nossa hipótese é de que equações mais completas, a qual inclui variáveis associadas ao animal, suplemento e o pasto, predizem melhor o CMS. Sendo assim, objetivou-se desenvolver e avaliar modelos de predição do  $CMS_{total}$  por bovinos de corte criados em condições tropicais com uso da suplementação alimentar.

## **2. Material e Métodos**

### *2.1 - Banco de dados e desenvolvimento dos modelos:*

Para o ajuste dos modelos de predição utilizou-se conjunto de dados obtido a partir de observações individuais relatadas em 23 estudos provenientes de teses ou dissertações, realizados no Brasil entre 2006 e 2019, totalizando 104 meios de tratamento que representaram 804 animais de corte, em crescimento ou terminação.

Para inclusão dos dados no conjunto, alguns critérios foram adotados: 1) experimento realizado em condições tropicais; 2) bovinos alimentados sob diferentes sistemas de manejo alimentar e níveis de produção; 3) medidas individuais de consumo de matéria seca; 4) estimativa da ingestão de pasto usando marcadores externos e internos; 5) descrição adequada dos animais: peso corporal, CMS, ganho de peso médio diário (GMD), dietas experimentais: ingredientes e composição química.

Os experimentos que compuseram o banco de dados para elaboração dos modelos foram realizados nas diferentes épocas do ano (seca, transição seca-águas, águas e transição águas-seca). Os mesmos foram realizados em delineamentos inteiramente casualizado. As pastagens foram divididas em diferentes piquetes, providos de bebedouros e comedouros cobertos, e uma ampla variedade de tratamentos, usando diferentes quantidades de suplementos ou composições.

Inicialmente todas as variáveis consideradas relevantes (Tabela 1) para caracterizar o trabalho foram digitadas em uma planilha, dessa maneira foi possível elaborar uma planilha de dados com as variáveis que proporcionassem o desenvolvimento de modelos e o entendimento dos resultados obtidos.

Para inclusão das variáveis independentes no modelo foi determinado os coeficientes de correlação linear *Pearson* (Tabela 3). Para permanência da variável no modelo utilizou-se o procedimento de eliminação de variáveis independentes não significativas ( $P > 0,05$ ), permanecendo os modelos reduzidos que melhor explicaram a variável dependente avaliada (Neter et al., 1990). As observações que apresentaram resíduos estudentizados maiores que 2,5 ou inferiores a -2,5 foram excluídas do banco de dados utilizado para construção dos modelos.

A estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão) para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição do CMS<sub>total</sub> encontram-se listadas na Tabela 1.

O desenvolvimento dos modelos de predição propostos, foram ajustados usando uma análise de modelos mistos no software Rstudio versão 3.6.2, incluindo o estudo como efeito aleatório no modelo.

## 2.2 - Avaliação dos Modelos

Para a avaliação da acurácia e precisão dos modelos propostos, utilizou-se um banco de dados independente, com 87 observações (médias de tratamentos) oriundos de vinte e um experimentos que representaram 888 animais. Para isso, uma pesquisa bibliográfica foi conduzida usando os banco de dados de [Web of Science (<https://login.webofknowledge.com>)], PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), Google Acadêmico (<http://www.scholar.google.com>), Scielo (<https://scielo.org/>). (Apêndice A).

A avaliação da acurácia e precisão dos modelos desenvolvidos e dos já disponíveis na literatura (Tabela 4) foi realizada por meio das análises de regressão linear simples dos valores observados (Y) com aqueles preditos (X), utilizando-se os seguintes procedimentos: análise gráfica dos valores observados *versus* preditos, coeficiente de determinação, quadrado médio do erro de predição (QMEP), raiz quadrada do QMEP, e análises de coeficiente de correlação de concordância (CCC) usando o Model Evaluation Syst em (College Station, TX; <http://nutritionmodels.tamu.edu/mes.html>), conforme descrito por Tedeschi (2006).

O QMEP foi decomposto em três fontes de erros: 1) o erro devido ao viés, o modelo mais acurado é aquele que possui um viés médio mais próximo do valor zero; 2) erro devido à inclinação da regressão entre valores observados e preditos ser diferente de 1 e 3) o erro aleatório. O erro aleatório representa o erro que não é explicado pelo modelo (Bibby e Toutenburg, 1977).

A utilização do QMEP é frequentemente usada para verificar a acurácia de um modelo. Segundo Wilks (2006), por elevar as diferenças individuais ao quadrado torna-se sempre positivo, onde um QMEP = 0, indica uma predição perfeita. E pode ser definido como:

$$QMEP = \sum(Observado - Predito)^2 / n$$

Em adição ao QMEP, a raiz quadrada do QMEP (RQMEP), é comumente usada para expressar a acurácia dos resultados, com a vantagem que esta apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. A RQMEP é definido por:

$$RQMEP = \sqrt{\sum(Observado - Predito)^2 / n}$$

Cujos valores foram expressos em kg/dia e em % do CMS<sub>total</sub> observado, e seu intervalo de confiança com erro tipo I de 5%, conforme proposto por Vieira (2017).

O CCC foi dividido em coeficiente de correlação, indicando a acurácia ( $\rho$ ) e fator de correção do viés, indicando a precisão ( $C_b$ ). Os valores de  $\rho$  e  $C_b$  variam de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando maior precisão e exatidão (Lin, 1989; King e Chinchilli, 2001; Liao, 2003).

A estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão), para todas as variáveis utilizadas na avaliação das equações de predição do CMS<sub>total</sub> encontram-se listadas na Tabela 2.

### 3. Resultados

#### 3.1 - Banco de Dados

O banco de dados usado para desenvolver (Tabela 1) e avaliar (Tabela 2) os modelos de  $CMS_{total}$  representaram ampla gama das características de bovinos de corte e das dietas utilizadas. Além disso, o conjunto de dados foi representativo dos sistemas de gado corte, os quais utilizam suplementação alimentar durante as fases de crescimento dos animais.

A estatística descritiva dos animais e das dietas utilizadas, para ajustar e avaliar os modelos foram próximos, indicando que os dois subconjuntos foram adequados (Tabelas 1 e 2) para o desenvolvimento e avaliação dos mesmos. O mesmo procedimento de avaliação foi aplicado aos modelos já publicados.

#### 3.2 - Desenvolvimento dos modelos de predição

Nos três modelos propostos para  $CMS_{total}$  foram ajustados ( $P < 0,05$ ) as variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto (Tabela 4). No Modelo I foram ajustados ( $P < 0,05$ ) o peso médio metabólico ( $PM^{0,75}$ ) e ganho de peso corporal (GMD). No Modelo II, foram ajustadas ( $P < 0,05$ ) além das variáveis do Modelo I informações relacionadas ao suplemento (consumo de matéria seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal e consumo de proteína bruta (PB) via suplemento em kg/dia). No Modelo III foram ajustados ( $P < 0,05$ ) as variáveis do Modelo II mais informações relacionada ao pasto, sendo a proteína bruta (PB).

A fibra em detergente neutro (FDN) apresentou baixa correlação com  $CMS_{total}$ , além de não apresentar significância durante o processo de eliminação das variáveis independentes não significativas, por esse motivo não foi utilizada para o ajuste dos Modelos.

O efeito de estudo foi considerado como aleatório em todos os modelos, pois, segundo Pierre (2001) quando se faz a inclusão nas análises, as equações geradas tornam-se mais

precisas. O efeito de raça, sexo e suas interações foram testados, porém não foi observada significância ( $P > 0,05$ ) nas análises, assim sendo, não foram propostos modelos separados.

Todos os modelos propostos apresentaram resultados não significativos para o intercepto e inclinação da reta ( $P > 0,05$ ) (Tabela 5) indicando que os mesmos podem ser utilizados para prever o  $CMS_{total}$ .

### 3.3 - Avaliação dos modelos

Os modelos ajustados para prever o  $CMS_{total}$  foram capazes de explicar de 57% a 63% ( $R^2$ ) das variações entre os valores observados e preditos (Tabela 5).

O Modelo I (Animal) apresentou o menor viés da média (0,35 kg/d), maior acurácia ( $\rho = 0,80$ ) porém menor precisão ( $C_b = 0,89$ ), ocasionando menor CCC (0,71) entre os Modelos propostos (Tabela 5, figs 1 e 3). Na decomposição do QMEP apresentou menor participação do erro aleatórios (85,43%) e o viés médio foi responsável por 11,4% dos erros de predição. No entanto, os Modelos propostos I, II e III apresentaram semelhante ( $P > 0,05$ ) RQMEP (18,49%; 19,31% e 19,38% do  $CMS_{total}$  observado).

O ajuste de variáveis relacionada ao animal e suplemento (Modelo II), melhorou a capacidade preditiva, apresentando o segundo menor viés da média (0,28 kg/d), maior precisão ( $C_b = 0,94$ ), porém menor acurácia ( $\rho = 0,78$ ), no entanto, quando analisados juntamente proporcionaram maior CCC (0,74) comparado com o modelo I e III. Na partição do QMEP apresentou maior participação do erro aleatórios (90,35%) e menor erro associado ao viés médio (9,56%).

O Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto) apresentou o maior viés da média (0,39 kg/d), precisão de ( $C_b = 0,92$ ), e acurácia de ( $\rho = 0,76$ ), fazendo com que tenha valor de CCC (0,71) igual ao Modelo I e inferior ao Modelo II, participação do erro aleatório na decomposição do QMEP de (90,07%), e erro devido ao viés de (9,83%).

O Modelo I proposto por Azevedo et al. (2016), estimou  $CMS_{total}$  com maior viés médio (0,651 kg/d), menor CCC (0,67),  $\rho$  (0,73) e  $C_b$  (0,92) e maior ( $P \leq 0,05$ ) RQMEP (25,51% do  $CMS_{total}$  observado), que os Modelos propostos (Tabela 5, figs 1 e 3). Além disso, apresentou resultado significativo ( $P < 0,05$ ) para intercepto e inclinação da reta, o que indica que de fato o modelo não tendeu a ser paralelos às linhas  $Y = X$ , concluindo que não houve similaridade entre os valores preditos e observados.

Os Modelos II, III e IV proposto por Azevedo et al. (2016), apresentaram resultado não significativo ( $P > 0,05$ ) para intercepto e inclinação da reta, (Tabela 5, figs 2 e 3) o qual pode indicar uma similaridade entre os valores de  $CMS_{total}$  observados e preditos, porém, estimaram o  $CMS_{total}$  com maior viés médio (0,78; 0,41 e 1,16 Kg/d)) que os demais modelos, além disso, apresentaram o menor CCC (0,69; 0,60 e 0,54) e maior ( $P < 0,05$ ) RQMEP (22,11%; 21,10% e 27,15% do  $CMS_{total}$  observado) comparado aos Modelos propostos.

#### **4. Discussão**

Ao analisarmos o coeficiente de determinação dos Modelos propostos para prever o  $CMS_{total}$ , observa-se que não apresentaram valores altos, porém, não é adequado afirmar que um  $R^2$  não elevado indica baixa correlação entre os valores observado e preditos, uma vez que essa relação pode ser curvilínea (Tedeschi, 2006). Nessas situações o correto é submeter os dados a outras análises, com o intuito de verificar a acurácia e precisão entre os valores observados e preditos.

Desse modo, verificou-se que os modelos ajustados para prever o  $CMS_{total}$ , apresentaram resultados próximos, onde não houve diferença ( $P > 0,05$ ) para a RQMEP indicando que ambos os modelos podem ser adequados para prever o  $CMS_{total}$ . A inclusão de variáveis relacionadas ao pasto não melhorou a capacidade preditiva do Modelo.

Os Modelos propostos apresentaram melhor capacidade preditiva, sendo mais acurados e precisos que os Modelos de Azevedo et al. (2016). Como o  $CMS_{total}$  pode ser afetado por vários fatores associados à dieta, ao animal e ao meio ambiente, esperava-se que o Modelo mais completo o qual inclui variáveis associadas ao animal, suplemento e pasto estimasse com maior precisão e acurácia. No entanto, isso não foi confirmado, pois não houve diferença ( $P>0,05$ ) da RQMEP entre os três Modelos propostos.

Além da similaridade da RQMEP entre os Modelos, durante a avaliação o Modelo II (Animal + Suplemento) apresentou maior CCC que o Modelo I e III (0,76 vs 0,71), indicando que o mesmo pode ser considerado mais apropriado para predição do  $CMS_{total}$ . Assim, a incorporação das variáveis preditivas do suplemento com aquelas relacionadas ao animal, melhorou a capacidade preditiva do Modelo.

Durante a partição do quadrático médio do erro de predição em três componentes, foi revelado que o erro aleatório pode ser uma causa de diferença na predição do  $CMS_{total}$  entre os Modelos ajustados e os de Azevedo et al (2016). Onde o Modelo I proposto e os de Azevedo et al (2016) apresentaram menor parte do erro não correlacionados, pois a falta de correlação contabilizada pelo erro aleatório foi menor. Além disso, na partição os Modelos II e III propostos, apresentaram o menor erro associado ao viés médio (9,56% e 9,83%). Segundo Yungblut et al. (1981) um viés médio até próximo de 10% da média de ingestão de matéria seca é aceitável.

Outro fator está relacionado com a simplicidade do modelo, onde o Modelo III (Animal + Suplemento + Pasto) apresenta seis parâmetros e cinco variáveis, ao passo que o Modelo II (Animal + Suplemento) apresenta cinco parâmetros e quatro variáveis, além de não necessitar de análises químicas do pasto, tornando-o mais fácil de ser aplicado.

Embora o Modelo I proposto por Azevedo et al. (2016) tenha sido desenvolvido utilizando observações de bovinos de corte criados no Brasil, a qualidade de sua predição foi

inferior aos Modelos propostos. Além disso, esse modelo apresentou resultado significativo para intercepto e inclinação da reta ( $P < 0,05$ ), o que acaba prejudicando a predição do  $CMS_{total}$ .

Destaca-se que o Modelo proposto por Azevedo et al. (2016), foi elaborado com a maior parte dos animais em fase de recria e durante o período da seca do ano, o que pode ter levado a essa menor capacidade preditiva e resultado significativo para intercepto e inclinação da reta ( $P < 0,05$ ), indicando falta de adequação entre  $CMS_{total}$  observado e predito.

Os demais Modelos (II, III e IV) propostos por Azevedo et al. (2016), não estimaram adequadamente o  $CMS_{total}$ . Apesar do intercepto entre o  $CMS_{total}$  observado e o predito pelos modelos não ser diferente de zero e a inclinação não ser diferente da unidade, estas equações apresentaram maior viés médio que os Modelos propostos, além de apresentarem o menor CCC e maior RQMEP em % do observado, indicando baixa precisão e acurácia.

Está menor capacidade preditiva dos Modelos (II, III e IV) propostos por Azevedo et al. (2016) pode estar relacionada a não inclusão durante o ajuste de variáveis relacionadas ao suplemento e/ou pasto consumido pelos animais, podendo afetar a qualidade de predição, similar ao verificado para o Modelo I proposto, o qual inclui somente variáveis relacionadas ao animal, onde também apresentou uma menor capacidade preditiva que o modelo o qual ajustou variáveis relacionadas ao animal e suplemento.

Outra explicação para menor capacidade de predição dos modelos II, III e IV de Azevedo et al. (2016), está relacionada ao sistema produção em que foram ajustados. Onde os mesmos foram ajustados com informações de animais em sistema de confinamento, o que não reflete as mesmas adversidades que os animais em sistema de pastejo estão expostos, e que podem influenciar o consumo dos mesmos. Através desses resultados podemos concluir que modelos ajustados com animais em confinamento não são adequados para predizer o  $CMS_{total}$  de animais criados em sistemas de pastagem.

Além disso, os resultados encontrados com este trabalho confirmam a maior complexidade dos fatores que afetam o  $CMS_{total}$  de bovinos de corte criados a pasto e o maior desafio em predizê-lo nestas condições, mostrando que há outros fatores além dos avaliados neste estudo que devem ser identificados e acrescentados nos modelos de predição futuros.

## 5. Conclusão

O Modelo ajustado com variáveis relacionadas ao animal e suplemento melhorou a predição do  $CMS_{total}$  em relação ao modelo mais simples e ao mais completo.

Para predição do  $CMS_{total}$ , nós recomendamos o uso Modelo II (Animal + Suplemento) que utiliza peso metabólico, ganho de peso corporal, Consumo de matéria seca do suplemento (kg/dia) em função da % do peso corporal e consumo de proteína bruta via suplemento.

Nossos Modelos propostos para predizer  $CMS_{total}$  apresentam maior acurácia e precisão que os Modelos vigentes de Azevedo et al., (2016).

**Conflito de interesse:** Não há conflito de interesse.

**Agradecimento:** Ao grupo NPleite, em especial ao Rodrigo Torres da Universidade Federal de Mato Grosso Campus de Sinop, pelo auxílio na elaboração das planilhas para análise dos dados.

## 6. Referências bibliográficas

Azevêdo, J.A.G.; Valadares Filho, S.C.; Costa e Silva, L.F., et al. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados, BR-Corte 3ª edição Viçosa, MG: UFV 2016.

Bibby, J., D. and H. Toutenburg. 1977. Prediction and improved estimation in linear models. John Wiley & Sons, Berlin, Germany.

- Coleman, S. W.; Lippke, H.; Gill, M. Estimating the nutritive potential of forages. In: Jung, H. G., Fahey Jr., C. G. (Ed.) Nutritional ecology of herbivores: Proc. Vth Int. Symp. Nutr. Herbivores. Am. Soc. Anim. Sci., Savoy, IL, 647–695, 1999.
- King, T. S., and V. M. Chinchilli. 2001. Robust estimator of the concordance correlation coefficient. *J. Biopharm. Stat.* 11:83–105.
- Liao, J. J. Z. 2003. An improved concordance correlation coefficient. *Pharm. Stat.* 2:253–261.
- Lin L. I. K. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics.* 45: 255-268.
- Mercadante, M. E. Z.; Grion, A. L. Perspectivas de inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte. In: X Simpósio brasileiro de melhoramento animal, 2013, Uberaba, MG, 2013. Anais... Uberaba: SBMA, 2013. p.1-14.
- Mertens, D. R. Regulation of forage intake. In: Fahey JR., G. C.; Collins, M.; Mertens, D. R.; Moser, L. E. Forage Quality, Evaluation and Utilization. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science of America, Soil Science of America, 1994, p. 450-493.
- Neter, J.; Wasserman, M.H. Kutner. 1990. *Applied Linear Statistical Models*. 3 ed. Homewood, IL.
- St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755, 2001.
- Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric. Syst.* 89:225-247.
- Vieira, F.J.G. Fatores que afetam o consumo de matéria seca de vacas leiteiras. (Dissertação. Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Mato Grosso-Sinop, 81p. 2017
- Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International Geophysics Series. 2a. Edição, Estados Unidos da América, Academic Press, v. 91, 2006. 627 p.

Yungblut, D.H.; Stone, J.B.; Macleod, G.K. et al. The testing of several feed intake prediction equations using farm data. *Canadian Journal of Animal Science* , v.61, p.159-164, 1981.

**Table 1-** Descriptive statistics of the variables used to develop equations to predict pasture and total dry matter intake, for beef cattle reared on pasture by supplementation.

Item	$n^I$	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
Body weight, Kg	804	294.50	281.8	80.0	590.0	99.3
Metabolic body weight, Kg	804	70.41	68.67	26.75	119.71	18.2
Average daily gain, kg/dia	804	0.40	0.40	-0.22	1.11	0.24
Intake Kg/d						
Dry matter total	804	5.70	5.42	1.67	12.03	2.04
Dry matter Pasture	804	4.99	4.70	1.35	11.52	1.90
CP supplement	804	0.21	0.19	0.00	1.19	0.17
Dry matter Supplement	804	0.70	0.62	0.00	3.66	0.59
Dry matter Supplement % BW	804	0.25	0.23	0.00	1.41	0.13
Pasture (%)						
Crude protein Pasture	804	8.15	8.10	4.23	12.66	2.15
Neutral detergent fiber	804	64.65	65.00	59.54	73.37	3.37

$n^I$ : number individual observations; SD: standard deviation.

**Table 2.** Descriptive statistics of the averages for variables used in the evaluation of pasture and total dry matter intake prediction equations for cattle raised on pasture.

Item	<i>n</i> <sup>1</sup>	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
Body weight, Kg	87	268.1	255.40	125.00	448.5	70.46
Metabolic body weight, Kg	87	65.83	63.89	37.55	97.46	12.93
Average daily gain, kg/dia	87	0.53	0.52	0.09	0.97	0.20
Intake Kg/d						
Dry matter total	87	5.95	5.75	3.02	9.91	1.74
Dry matter Pasture	87	4.91	5.01	1.44	9.27	1.70
CP supplement	87	0.22	0.20	0.00	0.75	0.18
Dry matter Supplement	87	0.88	0.82	0.00	4.08	0.82
Dry matter Supplement % BW	87	0.32	0.30	0.00	1.55	0.27
Pasture (%)						
Crude protein Pasture	87	8.14	7.9	4.3	13.3	2.26
Neutral detergent fiber	87	64.57	65.20	52.13	84.30	8.87

*n*<sup>1</sup>: treatment mean; SD: standard deviation.

**Table 3.** Coeficientes de correlação de Pearson para as relações entre as variáveis explicativas no conjunto de dados utilizado para desenvolvimento dos modelos.

Item	BW <sup>0,75</sup>	ADG	DMI <sub>total</sub>	DMI <sub>pasture</sub>	CCPs	DMIs	DMIs(% BW)	CPp	NDFp
PC	0.990	-0.125	0.752	0.747	0.161	0.201	-0.137	-0.346	0.327
BW <sup>0,75</sup>		-0.131	0.756	0.749	0.168	0.207	-0.135	-0.345	0.327
ADG			0.086	0.036	0.177	0.181	0.220	0.378	-0.187
DMI <sub>total</sub>				0.957	0.364	0.383	0.109	-0.075	0.171
DMI <sub>pasture</sub>					0.100	0.099	-0.162	-0.050	0.167
CCPs						0.932	0.849	-0.039	0.032
DMIs							0.895	-0.098	0.053
DMIs (% BW)								0.005	-0.064
CPp									-0.6631

<sup>1</sup> BW = body weight ; BW<sup>0,75</sup> = metabolic body weight; ADG = average daily gain; DMI<sub>total</sub> = total dry matter consumption; DMI<sub>pasture</sub> = dry matter consumption pasture; CCPs = crude protein intake via supplement; DMIs = supplement dry matter intake; DMIs %BW = consumption of dry matter supplement in% of body weight; CPp = crude protein from pasture; NDFp = neutral detergent fiber pasture.

**Table 4 - Prediction models of dry pasture intake for beef cattle reared on pasture with food supplementation.**

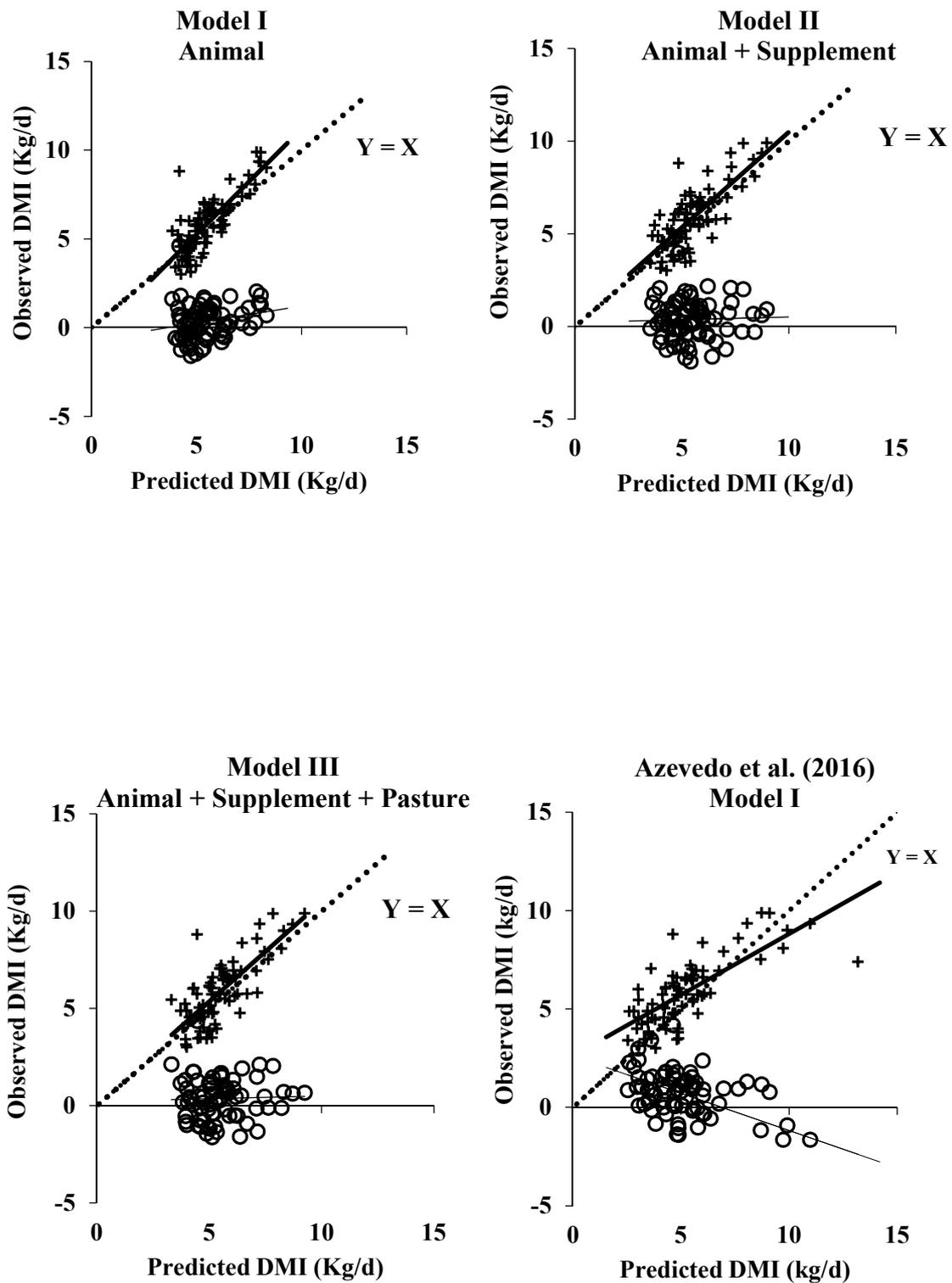
Modelos	Equations
<b>Prediction Equations de DMI<sub>total</sub></b>	
Azevedo et al., (2016) I	$DMI = -1.912 + (0.900 \times DMIs) + (0.094 \times BW^{0.75}) + (1.070 \times ADG) - (1.395 \times ADG^2)$
Azevedo et al., (2016) II	$DMI = -1,7824 + (0.07765 \times BW^{0.75}) + (4.0415 \times ADG) - (0.8973 \times ADG^2)$
Azevedo et al., (2016) III	$DMI = -0.6273 + (0.06453 \times BW^{0.75}) + (3.871 \times ADG) - (0.614 \times ADG^2)$
Azevedo et al., (2016) IV	$DMI = -2.8836 + (0.8435 \times BW^{0.75}) + (4.5145 \times ADG) - (0.9631 \times ADG^2)$
<b>Model proposed</b>	
Model I	$DMI_{total} = -1.093 + (0.086 \times BW^{0.75}) + (1.839 \times ADG)$
Model II	$DMI_{total} = 0.140 + (0.068 \times BW^{0.75}) + (0.416 \times ADG) + (0.727 \times DMIs\%BW) + (0.031 \times BW^{0.75} \times ICPs)$
Model III	$DMI_{total} = -0.689 + (0.069 \times BW^{0.75}) + (0.366 \times ADG) + (0.744 \times DMIs\%BW) + (0.093 \times CPp) + (0.031 \times BW^{0.75} \times ICPs)$

DMIs %BW = Consumption of dry matter supplement (kg / day) as a function of % body weight; ADG = Average daily gain;  $BW^{0.75}$  = Metabolic body weight; CCPs = Crude protein intake via supplement; CPp = Crude protein from pasture.

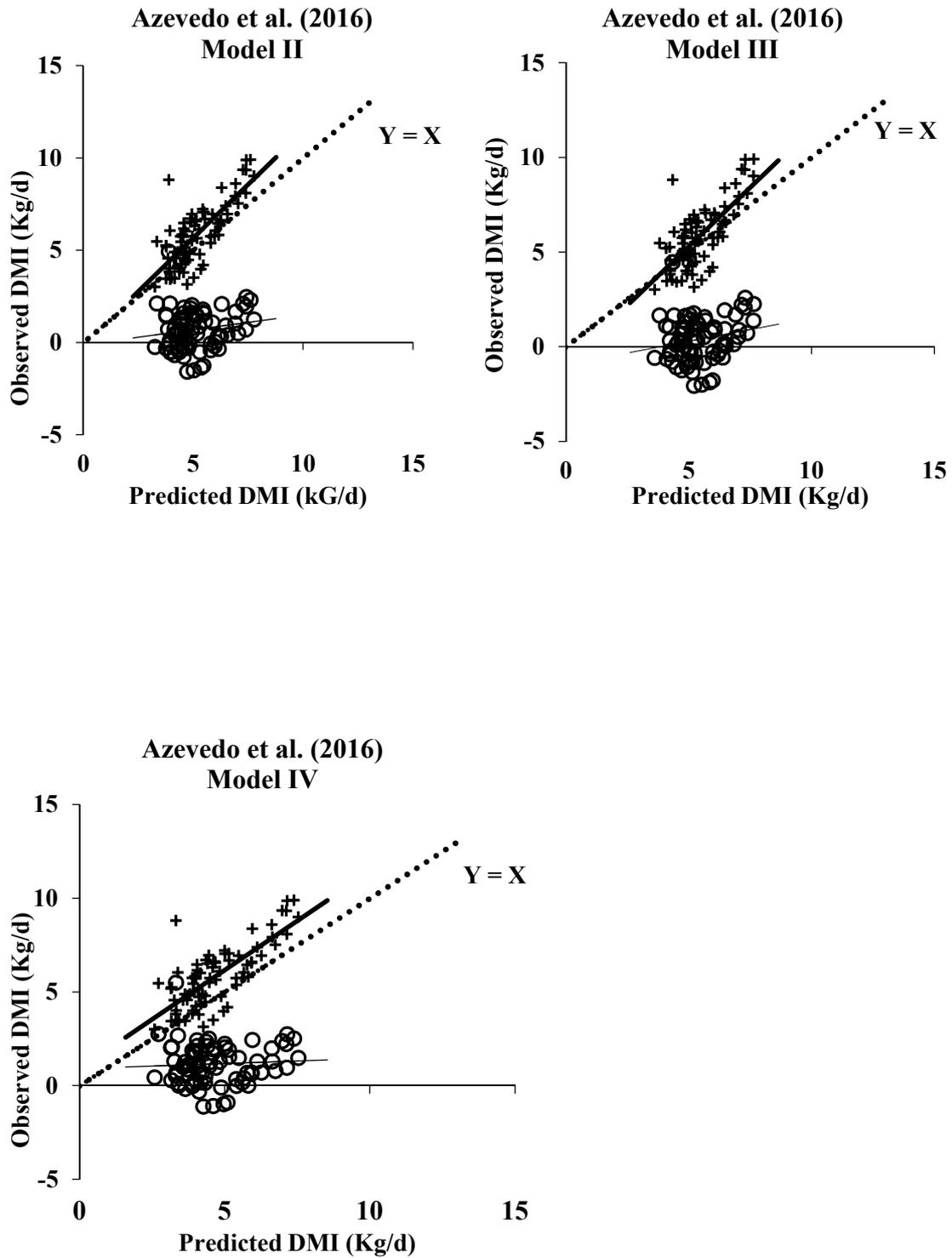
**Table 5.** Statistics for the relationship between the observed values (Y) and the predicted values (X) by the proposed models, for prediction of pasture dry matter intake (pDMI) of pasture by cattle raised on pasture using food supplementation.

Itens	Model						
	Proposed			Azevedo et al., (2016)			
	Model I	Model II	Model III	I	II	III	IV
Observed DMI (Y), kg/d	5.84	5.84	5,84	5.84	5.84	5.84	5.84
Predicted DMI (X), kg/d	5.49	5.47	5.45	5.19	5.13	5.43	4.68
Mean bias (Y – X), kg/d	0.353	0.375	0.395	0.651	0.708	0.406	1.161
Intercept	-0.7035	0.2131	0.2208	2.6208	-0.1158	-0.9347	0.9138
<i>P</i> -Value ( $H_0, \beta_0 = 0$ )	0.2257	0.7035	0.6949	<.0001	0.8453	0.2190	0.0736
Slope	1.1924	1.0296	1.0280	0.6206	1.1604	1.2468	1.0529
<i>P</i> -Value ( $H_0, \beta_1 = 1$ )	0.0653	0.7669	0.7800	<.0001	0.1589	0.0749	0.6133
( $r^2$ )	0.63	0,58	0.57	0.53	0.57	0.51	0.57
MSEP1, kg × kg	1.17	1.27	1.28	2.22	1.66	1.52	2.52
Root MSEP, kg/d	1.08	1.12	1.13	1.49	1.29	1.23	1.59
Partition of MSEP, %							
Error due to mean bias	11.42	9.56	9.83	19.07	29.19	11.52	53.15
Error due to slope not equal to 1	3.14	0.09	0.10	24.55	1.79	3.59	0.16
Random error	85.43	90.35	90.07	56.39	69.02	84.89	46.69
CCC <sup>2</sup> (0 a 1)	0.71	0.74	0.71	0.67	0.69	0.60	0.54
$\rho^3$ (0 a 1)	0.8012	0.7844	0.7622	0.7337	0.7630	0.7229	0.7507
$Cb^4$ (0 a 1)	0.8993	0.9367	0.9265	0.9265	0.8147	0.8305	0.7165

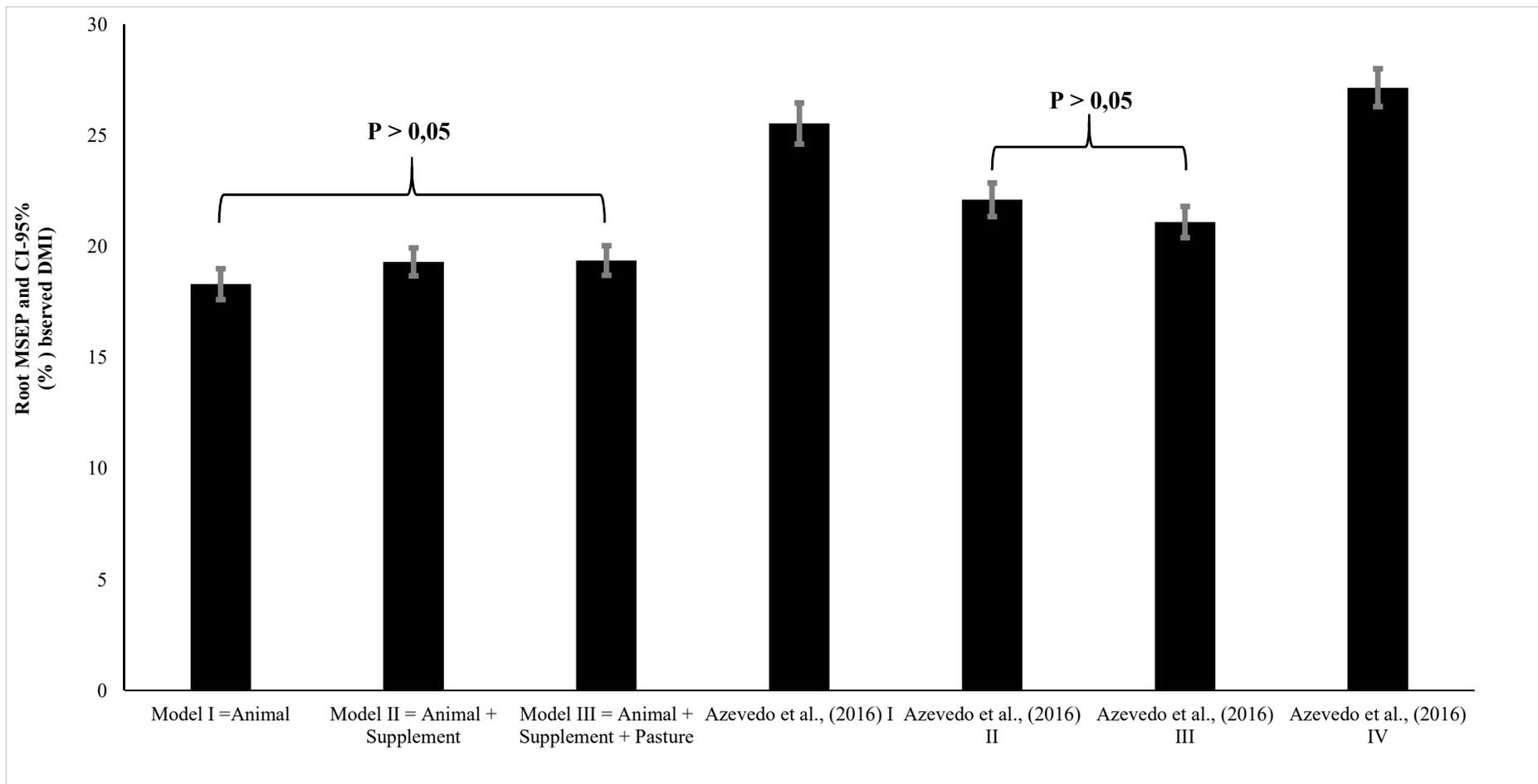
MSEP = Mean squared error of prediction; <sup>2</sup>CCC = Coeficiente de correlação e concordância;  $\rho^3$  = Correlation coefficient estimate (precision);  $Cb^4$  = Bias correctionfator(accuracy).



**Figure 1-** Relationship between the observed values (asterisk) and residual (observed - predicted; circles) of total dry matter intake (DMI), with the CMS values predicted for beef cattle under grazing system using Models I (Animal), II (Animal + Supplement), III (Animal + Supplement + Pasture).



**Figure 2-** Relationship between the observed values (asterisk) and residual (observed - predicted; circles) of total dry matter intake (DMI), with the CMS values predicted for beef cattle under grazing system using Models II, III, and IV, proposed by Azevedo et al., (2016).



**Figure 3** – Values of the mean square root of the prediction error (MSPE) and its confidence interval (95% CI) of the predictive models of total dry matter consumption (DMI) (Tables 4) for pasture cattle.

## 7. Apêndice

### Appendix A - Authors, year, title and journals in which the works used to evaluate the proposed equations were published

Almeida et al. (2018)	Soybean grain is a suitable replacement with soybean meal in multiple supplements for Nelore heifers grazing tropical pastures	Tropical Animal Health and production
Almeida et al. (2018)	Supplementation strategies for Nelore female calves in creep feeding to improve the performance: nutritional and metabolic respon	Tropical Animal Health and production
Barbosa et al. (2007)	Desempenho e consumo de matéria seca de bovinos sob suplementação protéico energética, durante a época de transição água-seca	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia
Dias et al. (2015)	Recría de novilhos em pastagem com e sem suplementação proteico/ energética nas águas: consumo, digestibilidade dos nutrientes e desempenho	Semina: Ciências Agrárias
Fernandes et al. (2012)	Avaliação nutricional, durante a amamentação, de tourinhos em pastejo recebendo suplementação proteica da amamentação à terminação	Revista Brasileira de Zootecnia
Figueiredo et al. (2011)	Levels of ground corn supplied to beef heifers at pasture during the rainy season: productive performance, intake, digestibility and microbial efficiency	Revista Brasileira de Zootecnia
Goes et al. (2005)	Recría de Novilhos Mestiços em Pastagem de Brachiaria brizantha, com Diferentes Níveis de Suplementação, na Região Amazônica. Consumo e Parâmetros Ruminais	Revista Brasileira de Zootecnia
Goes et al. (2010)	Suplementação proteica e energética para novilhos em recría, durante o período da seca	Revista brasileira de saúde e produção animal
Lima et al. (2012)	Suplementação de novilhos Nelore sob pastejo, no período de transição águas-seca	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia
Lopes et al. (2017)	Avaliação de planos de suplementação para bezerros de corte lactentes manejados em pasto tropical	Semina: Ciências Agrárias
Martins et al. (2015)	Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para novilhas Nelore em pastejo na época seca	Semina: Ciências Agrárias
Mateus et al. (2011)	Suplementos para recría de bovinos Nelore na época seca: desempenho, consumo e digestibilidade dos nutrientes	Acta Scientiarum. Animal Sciences

Continuation of **Appendix A** - Authors, year, title and journals in which the works used to validate the proposed equations were published

Mendes (2011)	Níveis de suplementação em dietas de novilhos terminados em pastagens	Tese : Universidade Estadual do sudeste da Bahia
Neves et al. (2018)	Increasing levels of supplementation for crossbred steers on pasture during the dry period of the year	Tropical Animal Health and production
Ortega et al. (2016)	Quantities of supplements for grazing beef heifers in the dry-rainy transition season	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)- Fase1- águas-seca	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)- Fase2 - Secas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)-Fase3 - transição seca-águas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
De Paula et al. (2019)-Fase4 - Águas	Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle	Semina: Ciências Agrárias
Prado et al. (2010)	Novilhos nelore suplementados em pastagens: consumo, desempenho e digestibilidade	Acta Scientiarum. Animal Sciences
Sales et al. (2011)	Supplementation levels for growing beef cattle grazing in the dry-rainy transition season	Revista Brasileira de Zootecnia