



RENATO LUÍS DE PAULA

**IMPACT OF CRUDE PROTEIN LEVEL AND UREA
SOURCE ON FINISHING PERFORMANCE OF NELORE
BULLS**

**LAVRAS – MG
2024**

RENATO LUÍS DE PAULA

**IMPACT OF CRUDE PROTEIN LEVEL AND UREA SOURCE ON FINISHING
PERFORMANCE OF NELORE BULLS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para o obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Erick Darlisson Batista
Orientador

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Paula, Renato Luís de.

Impact of crude protein level and urea source on finishing
performance of Nelore bulls / Renato Luís de Paula. - 2024.
52 p. : il.

Orientador(a): Erick Darlisson Batista.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Nitrogênio não-proteico. 2. Concentração de proteína bruta
na dieta. 3. Eficiência de produção e sustentabilidade. I. Batista,
Erick Darlisson. II. Título.

RENATO LUÍS DE PAULA

**IMPACT OF CRUDE PROTEIN LEVEL AND UREA SOURCE ON FINISHING
PERFORMANCE OF NELORE BULLS**

**IMPACTO DO NÍVEL DE PROTEÍNA BRUTA E DA FONTE DE UREIA NO
DESEMPENHO DE TOUROS NELORE EM TERMINAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 04 de Março de 2024.

Dr. Erick Darlison Batista – DZO/UFLA

Dr. Daniel Rume Casagrande – DZO/UFLA

Dr. Eduardo Henrique Bevitori Kling de Moraes – DZO/UFMT

Prof. Dr. Erick Darlison Batista

Orientador

**LAVRAS – MG
2024**

A minha mãe Maria Aparecida Américo, que sempre foi um exemplo de mulher e está ao meu lado, lutando comigo para que este sonho pudesse se realizar...

A meu pai Sebastião Luiz de Paula, por ter sido exemplo de homem, marido e pai. Por ensinar valores que me ajudam a continuar (in memoriam).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente rendo graças à Deus, pela minha vida, por ser o grande responsável por me guiar e abençoar na jornada. Por estar e ter estado comigo em todos os dias dessa caminhada.

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Erick Darlisson Batista, pelos ensinamentos, por me conceder oportunidades, ser um exemplo de professor e orientador, por acreditar na minha pessoa e me orientar durante o mestrado.

Agradeço aos meus familiares, por estarem comigo em todos os momentos e por serem meus incentivadores.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), por ter me proporcionado oportunidades e ensino de qualidade.

Agradeço à empresa Trouw Nutrition, pelo apoio financeiro e parceria no desenvolvimento do trabalho. Em especial ao Dr. Marco Aurélio de Felício Porcionato pelas contribuições no projeto.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em especial ao professor Dr. Daniel Rume Casagrande, Dr. Mateus Pies Gionbelli e Dra. Priscilla Dutra Teixeira pelo companheirismo e conhecimento transmitido durante todo meu caminho, possibilitando meu desenvolvimento científico, profissional e pessoal.

Agradeço aos membros do grupo NEPEC, por estarem ao meu lado, ajudando na condução do experimento e realização deste trabalho, assim como na minha formação. Em especial agradeço a Gabriela Dias por ter sido minha parceira, companheira e braço direito na condução do trabalho.

Agradeço a minha esposa Alice, por sempre estar ao meu lado, apoiando e demonstrando confiança no que sou e no que faço, sendo minha companheira e amiga, me apoiando inclusive na vida pessoal.

Agradeço aos técnicos do LPA do DZO (Estefânia, Antônio e Flávio) e aos funcionários do DZO por toda ajuda e apoio necessários durante o experimento.

À todos os que de forma direta ou indireta contribuíram para tornar isso possível, meu muito obrigado.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes níveis de proteína bruta (11% vs. 14% MS) associados a diferentes fontes de ureia na dieta (convencional vs. liberação pós-ruminal) sobre o desempenho de terminação, características de carcaça e digestibilidade aparente dos constituintes dietéticos de touros Nelore. Oitenta e quatro touros Nelore com peso corporal inicial (PC) de $448 \pm 40,5$ kg foram blocados por PC, do mais leve ao mais pesado, alocados em 7 grupos de 4 baias (28 baias no total, com três touros por baia) de igual PC e delineamento em blocos ao acaso (PC inicial), em um arranjo fatorial 2 x 2 (2 níveis de proteína bruta e 2 fontes de ureia) para testar interações entre as fontes de ureia. Os seguintes tratamentos foram atribuídos: (1) 11% de proteína bruta (PB) com ureia de liberação convencional (UC) (11% PB + UC); (2) 11% de proteína bruta (PB) com ureia de liberação pós-ruminal (PRU) (11% PB + PRU); (3) 14% de proteína bruta (PB) com ureia de liberação convencional (UC) (14% PB + UC); (4) 14% de proteína bruta (PB) com ureia de liberação pós-ruminal (PRU). O período experimental durou 90 dias. As rações totalmente misturadas foram misturadas manualmente e oferecidas ad libitum duas vezes ao dia (08:00 e 16:00 h), para que a sobra não excedesse 5%. O consumo diário de alimento foi registrado. Os touros foram pesados individualmente (não jejuados) no dia 0, 50 e 90 do experimento. A ultrassonografia de carcaça foi realizada juntamente com a pesagem. Amostras de sangue foram obtidas individualmente antes da alimentação no dia 49 do experimento para medir o metabolismo energético, parâmetros de metabolismo proteico e concentrações de glicose. Diferenças foram consideradas significativas em $P \leq 0,05$ e tendências foram discutidas em $0,05 < P < 0,10$. Touros alimentados com 14% PB apresentaram maior PC e GMD no dia 90 ($P < 0,04$) do que aqueles alimentados com 11% PB (608 vs. 594 kg e 1,93 vs. 2,14 kg/dia, respectivamente). Em média, dietas com 14% PB promoveram um aumento de 6% na eficiência alimentar em comparação com dietas com 11% PB ($P = 0,10$; 178,6 vs. 189,7 g/kg, respectivamente). A concentração de PB na dieta afetou positivamente o peso da carcaça quente ($P = 0,03$; 329 vs. 338 kg), mas as medidas de ultrassom não foram afetadas ($P > 0,15$). Os tratamentos com PRU apresentaram menor perda fecal de N ($P = 0,04$) do que aqueles alimentados com ureia convencional (79,2 vs. 87,2 g/d). A eficiência de retenção de N por unidade de N ingerido e absorvido foi maior ($P < 0,001$) para os tratamentos com 11% de PB (20,3 vs. 17,1 g/g e 32,2 vs. 24,2 g/g). A eficiência de retenção de N por grama de N ingerido foi maior ($P = 0,03$) com a inclusão de PRU (19,5 vs. 17,9 g/g). A redução no teor de PB das dietas afetou negativamente o consumo de MS, desempenho dos animais e peso da carcaça.

Palavras-chave: Confinamento; liberação pós-ruminal; nível de proteína; produção de carne bovina; reciclagem de ureia.

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of different levels of crude protein (11% vs. 14% DM) associated with different sources of urea in the diet (conventional vs. post-ruminal release) on finishing performance, carcass characteristics and apparent digestibility of dietary constituents of Nelore bulls. Eighty-four Nelore bulls with initial body weight (BW) of 448 ± 40.5 kg were blocked by BW, from lightest to heaviest, allocated in 7 groups of 4 pens (28 pens in total, with three bulls per pen). of equal PC and randomized block design (initial PC), in a 2 x 2 factorial arrangement (2 levels of crude protein and 2 sources of urea) to test interactions between urea sources. The following treatments were assigned: (1) 11% crude protein (CP) with conventional release urea (UC) (11% CP + UC); (2) 11% crude protein (CP) with post-ruminal release urea (PRU) (11% CP + PRU); (3) 14% crude protein (CP) with conventional release urea (UC) (14% CP + UC); (4) 14% crude protein (CP) with post-ruminal release urea (PRU). The experimental period lasted 90 days. The fully mixed rations were mixed manually and offered ad libitum twice a day (08:00 and 16:00 h), so that the surplus did not exceed 5%. Daily food consumption was recorded. Bulls were weighed individually (not fasted) on days 0, 50 and 90 of the experiment. Carcass ultrasound was performed together with weighing. Blood samples were obtained individually before feeding on day 49 of the experiment to measure energy metabolism, protein metabolism parameters, and glucose concentrations. Differences were considered significant at $P \leq 0.05$ and trends were discussed at $0.05 < P < 0.10$. Bulls fed 14% CP had higher BW and ADG on day 90 ($P < 0.04$) than those fed 11% CP (608 vs. 594 kg and 1.93 vs. 2.14 kg/day, respectively). In average, 14% CP diets promoting an increase of 6% on feed efficiency compared to 11% CP diets ($P = 0.10$; 178.6 vs. 189.7 g/kg, respectively). Dietary CP concentration affect positively the hot carcass weight ($P = 0.03$; 329 vs. 338 kg), but ultrasound measurements were not affected ($P > 0.15$). PRU treatments showed lower fecal N loss ($P = 0.04$) than those fed conventional urea (79.2 vs. 87.2 g/d). The N retention efficiency per unit of N ingested and absorbed was higher ($P < 0.001$) for treatments with 11% CP (20.3 vs. 17.1 g/g and 32.2 vs. 24.2 g/g). The N retention efficiency per gram of N ingested was higher ($P = 0.03$) with the inclusion of PRU (19.5 vs. 17.9 g/g). The reduction in CP content of diets negatively affect DM intake, animal performance, and carcass weight.

Key-Words: urea recycling; feedlot; protein level; beef production; post-ruminal release.

INDICADORES DE IMPACTO

O estudo investigou os efeitos da redução da concentração de proteína na dieta de bovinos Nelore em confinamento, bem como a associação com ureia convencional e de liberação pós-ruminal. Observou-se que a inclusão da ureia pós-ruminal melhorou a eficiência alimentar e a utilização de nitrogênio. . Esses resultados têm implicações significativas em várias áreas, incluindo aspectos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais, e têm o potencial de transformar a maneira como a pecuária é conduzida e percebida. Em termos sociais, as descobertas podem influenciar as práticas de alimentação animal, promovendo uma abordagem mais eficiente e sustentável. Isso pode beneficiar os produtores, conseguindo possivelmente reduzir custos de produção, aumentar a competitividade no mercado e o enquadramento em sistemas de produção mais sustentáveis. Além disso, ao adotar práticas mais sustentáveis é possível atender às demandas crescentes por alimentos produzidos de forma mais responsável. O uso de ureia de liberação pós-ruminal representa uma inovação no ponto de vista tecnológico. Essa tecnologia pode melhorar a eficiência de utilização de nutrientes pelos animais, como por exemplo o N, reduzindo conseqüentemente o desperdício. Além disso, abre caminho para o desenvolvimento de novos produtos e métodos de alimentação que podem beneficiar toda a indústria pecuária. No aspecto econômico, a redução da proteína na dieta pode gerar economias, já que os ingredientes proteicos possuem maior custo unitário. Isso pode ter um impacto positivo nos custos de produção, tornando a atividade pecuária mais lucrativa e sustentável a longo prazo. As descobertas são igualmente importantes no ponto de vista ambiental. A redução da proteína na dieta e o uso de ureia de liberação pós-ruminal podem contribuir para a redução da emissão de amônia no meio ambiente associadas à produção pecuária intensiva. Isso pode ajudar a minimizar os impactos negativos e promover práticas mais sustentáveis de produção de alimentos. Em resumo, o estudo destaca os impactos positivos da redução da proteína na dieta e do uso de fontes alternativas de ureia na produção de carne bovina.

IMPACT INDICATORS

The study investigated the effects of reducing protein concentration in the diet of Nelore cattle in feedlot conditions, as well as the association with conventional and post-ruminal release urea. It was observed that the inclusion of post-ruminal urea improved feed efficiency and nitrogen utilization. These findings have significant implications across various areas, including social, technological, economic, and environmental aspects, with the potential to transform the way cattle farming is conducted and perceived. In terms of social impact, the findings could influence animal feeding practices, promoting a more efficient and sustainable approach. This could benefit producers by potentially reducing production costs, increasing competitiveness in the market, and aligning with more sustainable production systems. Additionally, adopting more sustainable practices can meet the growing demand for responsibly produced food. The use of post-ruminal release urea represents a technological innovation. This technology can improve nutrient utilization efficiency in animals, such as nitrogen, thereby reducing waste. Moreover, it paves the way for the development of new products and feeding methods that can benefit the entire livestock industry. From an economic standpoint, reducing protein in the diet can lead to cost savings, as protein ingredients typically have a higher unit cost. This could positively impact production costs, making cattle farming more profitable and sustainable in the long term. The findings are equally important from an environmental perspective. Reducing protein in the diet and using post-ruminal release urea can contribute to reducing ammonia emissions in the environment associated with intensive cattle production. This can help minimize negative impacts and promote more sustainable food production practices. In summary, the study

highlights the positive impacts of reducing protein in the diet and using alternative urea sources in beef production.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRO CAPÍTULO

Figura 1 - Esquema do Ciclo da Ureia	19
Figura 2 - Comparativo entre ureia convencional e ureia pós-ruminal.	23

LISTA DE TABELAS

SEGUNDO CAPÍTULO

Table 1. Ingredients and Nutritional composition of diets.	44
Table 2. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on growth performance and carcass characteristics of Nellore bulls.....	45
Table 3. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on carcass characteristics of Nellore bulls.	46
Table 4. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on blood hormones and metabolites of Nellore bulls.	47
Table 5. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on intake and apparent total-tract digestibility in Nellore bulls.....	48
Table 6. Table 6. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on characterization of nitrogen utilization in Nellore bulls.	49

SUMÁRIO

PRIMEIRO CAPÍTULO	13
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. HIPÓTESE	14
3. OBJETIVO	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1. Produção de carne bovina em confinamento no Brasil	15
4.2. Exigência de proteína em dietas de bovinos de corte	16
4.3. Utilização de ureia na alimentação de bovinos de corte	17
4.4. Reciclagem de nitrogênio	18
4.5. Eficiência de utilização do nitrogênio	20
4.6. Ureia de liberação pós-ruminal – Trouw Nutrition	22
5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	24
SEGUNDO CAPÍTULO	32
IMPACT OF CRUDE PROTEIN LEVEL AND UREA SOURCE ON FINISHING PERFORMANCE OF NELLORE BULLS	32
Introduction	34
Material and Methods	35
Whole-plant sorghum silage and rehydrated and ensiled corn	35
Experimental design, animals, and housing	36
Dietary Treatments	36
Feeding management and measurements	37
Animal Performance	37
Blood sample collection and analysis	38
Statistical analysis	39
Results and Discussion	39
Conclusions	43
REFERENCES	50

PRIMEIRO CAPÍTULO

REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

A proteína é o nutriente com maior custo unitário da dieta (PAIXÃO *et al.*, 2006) e precisa ser fornecida de forma balanceada. Os bovinos possuem exigência de proteína reduzida à medida que amadurecem (NRC, 2000). No entanto, em países que utilizam dietas à base de grãos, como Austrália, Canadá e EUA, manter fixa a inclusão de proteína bruta em todo período de terminação e alimentar para atender ou exceder a exigência desse nutriente são práticas comumente usadas (F. COWLEY *et al.*, 2019).

O fornecimento da mesma dieta durante todo período de alimentação pode favorecer maiores perdas de nitrogênio na urina, pois a concentração de proteína na dieta pode estar excessiva, já que a deposição de tecido muscular diminui enquanto a deposição de tecido adiposo aumenta no final do período de alimentação (COLE *et al.*, 2005). A diminuição da proteína bruta (PB) das dietas de bovinos de corte pode ser o método mais prático e econômico para reduzir as emissões de amônia (TODD *et al.*, 2006).

A substituição de parte da proteína verdadeira pelo nitrogênio não proteico (NNP) tem levado ao aumento de pesquisas com a utilização da ureia com objetivo de reduzir o custo de produção (OBEID *et al.*, 2006).

A utilização de alimentos com maior teor de nitrogênio não proteico (NNP), como a ureia, em substituição aos alimentos que contenham proteína verdadeira pode melhorar a eficiência financeira da alimentação (SANTOS *et al.*, 2011). De acordo com SANTOS (2006), a ureia é utilizada na dieta de ruminantes para adequar a proteína degradável no rúmen e para reduzir o custo com a suplementação proteica.

No entanto, a ureia utilizada como fonte de NNP é rapidamente hidrolisada e pode contribuir em disponibilidade ruminal de N amoniacal maior do que a capacidade de utilização pelos microrganismos ruminais para síntese de proteína microbiana, resultando em maior perda de N do rúmen para o sangue. Se a quantidade de amônia que chega no fígado exceder a capacidade de processamento pelo animal, impactos no desempenho apresentados pelos reflexos negativos no consumo podem surgir e perdas via excreção urinária aumentam (LAPIERRE e LOBLEY, 2001; SANTOS e PEDROSO, 2011).

O excesso de N que é excretado resulta em impactos ambientais negativos e os gastos energéticos dos animais pelo excesso de proteína podem estar subestimados (F. COWLEY *et al.*, 2019). A maior parte dos nutrientes fornecidos para os bovinos é excretada na urina ou fezes, sendo que o percentual retido é de apenas 10 a 20% da ingestão (MCBRIDE, 2003).

Neste contexto, têm sido realizados estudos com suplementação de ureia no rúmen e pós-rúmen com objetivo de aumentar a eficiência de utilização de N (DE CARVALHO *et al.*, 2019; DE OLIVEIRA *et al.*, 2020). Em recente estudo, FÁVERO *et al.* (2023) avaliaram a substituição da ureia por ureia de liberação pós-ruminal em bovinos terminados em confinamento recebendo dietas à base de milho moído ou silagem de milho reidratado. Estes autores evidenciaram que, independentemente do processamento do milho, a substituição de ureia de liberação pós-ruminal aumentou o ganho médio diário em 7,1% (1,95 vs. 1,78 kg/dia) e, como o consumo de matéria seca foi semelhante entre as fontes de ureia (em média, 10,4 kg/dia), a eficiência alimentar foi ampliada em 6,9% ($P < 0,03$) em comparação com os animais que receberam a ureia convencional. Este aumento de desempenho foi, provavelmente, explicado pela maior eficiência de utilização do N, devido a maior estabilidade da concentração de amônia no rúmen, redução da excreção de ureia urinária, conforme relatado em outros estudos avaliando a infusão pós-ruminal de N (EGAN, 1965ab; BATISTA *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

2. HIPÓTESE

Hipotetizamos que a redução da concentração de proteína bruta (11% MS) associada com a ureia de liberação pós-ruminal amplia a eficiência de uso do N em bovinos terminados em confinamento, quando comparado com animais recebendo dietas com níveis atualmente usados nos confinamentos brasileiros (14% MS).

3. OBJETIVO

O objetivo é avaliar o desempenho, características de carcaça e digestibilidade aparente dos constituintes da dieta de bovinos Nelore terminados em confinamento contendo diferentes teores de proteína bruta (11 vs. 14% da MS) associadas a diferentes fontes de ureia na dieta (convencional vs. liberação pós-ruminal).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Produção de carne bovina em confinamento no Brasil

A pecuária bovina de corte no Brasil é uma atividade econômica do agronegócio brasileiro que contribui para o equilíbrio da balança comercial, com tendência de fortalecer e consolidar o abastecimento de produto tanto para o mercado interno quanto para o mercado externo (MOREIRA, 2010). Além do Brasil ter grande importância em tamanho de rebanho, o país é o maior exportador de carne bovina do mundo (FAO, 2019).

O Brasil tem aumentado a exportação de carne bovina nos últimos anos, atingindo em 2021, cerca de 2,48 milhões de toneladas equivalentes de carcaça (TEC) exportadas do total de 9,71 milhões de TEC produzidas (ABIEC, 2022). Uma projeção feita pela ABIEC (2022) mostra que entre 2025 e 2030 as exportações de carne bovina brasileira ultrapassarão 3 milhões de toneladas equivalentes de carcaça, sendo necessário aumentar 35% da produção de carne com incremento de 45% na produtividade média da pecuária.

Como resultado da maior demanda internacional de carne bovina brasileira, o país aumentou o número de bovinos terminados em confinamento nos últimos anos, saindo de aproximadamente 2.757.000 de animais em 2009 (ANUALPEC, 2009) e indo para 6.730.000 de animais em 2021 (ABIEC, 2022). Como consequência desse aumento no número de animais confinados, a participação de abate de bovinos terminados no confinamento em relação ao total de animais abatidos em 2021 foi de 17,19% (IBGE, 2021).

Como forma de atender essa demanda em grande escala e por uma carne de melhor qualidade, o confinamento tem sido cada vez mais utilizado (SOARES, 2012). De acordo com MEDEIROS (2013), dentre as vantagens que o confinamento pode propiciar estão: a maior taxa lotação, retorno mais rápido sobre capital investido, redução da idade de abate do animal e melhor qualidade dos animais abatidos.

Para que o confinamento propicie o atendimento da demanda por carne com qualidade é preciso entender e aplicar estratégias nutricionais fundamentadas e recentes. Com isso, SILVESTRE e MILLEN (2021) realizaram uma pesquisa no Brasil em 2019 sobre as práticas nutricionais que consultores de confinamentos adotam e evidenciaram a redução de 42% na inclusão de volumoso das dietas em um período de 10 anos. SILVESTRE e MILLEN (2021) identificaram que 69,4% dos entrevistados utilizam a silagem de milho como principal fonte de volumoso. No mesmo estudo,

mostraram que 97,22% dos nutricionistas usam o milho como fonte primária de grãos na dieta, sendo que 44,44% utilizam o milho finamente moído como método primário de processamento. Estes autores também mostraram que o segundo método de processamento mais utilizados pelos nutricionistas é a colheita e armazenamento de grãos em alta umidade com 52,78% das respostas.

Além disso, os nutricionistas de confinamentos brasileiros estão adotando preferencialmente a FDN fisicamente efetiva (FDN_{pe}) como método de análise de fibra para formulação das dietas (80,6% das respostas), permitindo que 63,9% do total de nutricionistas utilize 81 a 90% da MS de inclusão de concentrado nas dietas de terminação (SILVESTRE e MILLEN, 2021).

4.2. Exigência de proteína em dietas de bovinos de corte

Componentes como proteína e energia possuem custo elevado em dietas de bovinos e várias estratégias para maximizar a utilização dos nutrientes e diminuir as perdas são adotadas dentro da produção desses ruminantes (CHIZZOTTI *et al.*, 2008). A utilização de estratégias nutricionais, modelos que estimem as exigências, animais adaptados as regiões tropicais e alimentação com nutrientes de qualidade são necessários para otimização e aperfeiçoamento do sistema de produção (POSADA *et al.*, 2011).

A nutrição é determinante para o desempenho dos animais e o componente de maior custo na produção de bovinos (SILVA *et al.*, 2010). Com isso, TEDESCHI *et al.* (2013) justificam ter estudos que contribuem para formular dietas de animais confinados que atendam às exigências de proteína corretamente. Normalmente as dietas no Brasil são formuladas de acordo com sistemas internacionais e que utilizam animais predominantemente taurinos como da Austrália (CSIRO), França (INRA), Reino Unido (ARC/AFRC) e principalmente o dos Estados Unidos (NRC). No entanto, cerca de 80% do rebanho bovino brasileiro é composto por animais zebuínos (ANUALPEC, 2009).

Estudos com exigências nutricionais são importantes, pois o Brasil tem carência de dados e utiliza sistemas bem estabelecidos de outros países (OLMEDO *et al.*, 2010). As primeiras Tabelas Brasileiras de Exigências de Zebuínos foram publicadas em 2006 por VALADARES FILHO *et al.* (2006), sendo em 2010 elaborada a segunda versão (VALADARES FILHO *et al.*, 2010) e posteriormente em 2016 a terceira versão (VALADARES FILHO *et al.*, 2016).

Considerando um CMS de 10kg, bovinos de 450kg e ganho de 1,5kg, o BR-CORTE (MARCONDES *et al.*, 2010) recomenda média de 1402 gramas de proteína bruta, ou seja, 14% de PB. Já o BR-CORTE (VALADARES FILHO *et al.*, 2016) recomenda média de 1206 gramas de proteína bruta, ou seja, 12% de PB. Em trabalho conduzido por SILVESTRE e MILLEN (2021) sobre

práticas nutricionais adotadas no Brasil por consultores de confinamentos, a recomendação dos nutricionistas em relação a concentração média de PB nas dietas foi de 13,7%, sendo bem semelhante a concentração de 13,4% de PB adotada por nutricionista de confinamento dos EUA (SAMUELSON *et al.*, 2016).

Os valores de exigência de proteína bruta fornecidos pelo BR-CORTE (MARCONDES *et al.*, 2010) podem estar superestimados, já que o sistema não considera a reciclagem de N para o rúmen, sugerindo a redução dos teores de PB através do cálculo descrito pela equação do NRC (1985) para a ureia reciclada para o rúmen.

Na fase inicial de confinamento, as taxas de deposição de proteína são maiores e diminuem à medida que o animal amadurece e chega na fase final, onde o N fornecido pode estar sendo superior as exigências (KLOPFENSTEIN *et al.*, 2002). Dessa maneira, COLE *et al.* (2006) considerou a redução dos teores de PB no final do confinamento, reduzindo a sua ingestão e conseqüentemente a excreção para o ambiente.

4.3. Utilização de ureia na alimentação de bovinos de corte

A ampla utilização da ureia está relacionada ao seu baixo custo, facilidade de uso e disponibilidade no mercado (MAGALHÃES *et al.*, 2005). É a principal e mais utilizada fonte de nitrogênio não proteico (NNP) na substituição de fontes de proteína verdadeira (RODRIGUES, 2003). A ureia como fonte de NNP é hidrolisada até amônia no rúmen, que é incorporada em seguida pelos microrganismos ruminais e transformados em proteínas de alto valor biológico para os ruminantes (BERCHIELLI, 2006).

Melhoria no desempenho animal, elevação de concentrações de N-NH₃ e aumento do balanço de N são aspectos destacados de trabalhos realizados com inclusão de ureia na suplementação de bovinos de corte a pasto (FIGUEIREDO *et al.*, 2008; PAULINO *et al.*, 2008). Em estudo realizado por DETMANN *et al.* (2011) utilizando dieta com 4,13% de PB, 74,3% de FDN e relação de 2/3 de NNP para 1/3 de proteína verdadeira, foi observado melhora na degradação da fibra em forragem de baixa qualidade, potencializando também a atividade microbiana por ter maior disponibilidade de substratos para síntese de Pmic. COSTA *et al.* (2011) ao utilizarem 1/3 da proteína sendo de NNP, evidenciaram maior eficiência de uso do pasto por ter maior retenção de N, maior concentração de N-NH₃ e otimização do crescimento microbiano.

A idade dos animais que vão consumir ureia, adaptação dos animais e a utilização de fontes de enxofre para síntese de aminoácidos sulfurados são fatores que afetam diretamente a utilização da

ureia (FIRKINS *et al.*, 2007). A rápida degradação da ureia no rúmen é um dos problemas de seu uso para ruminantes. O pico de amônia no rúmen ocorre entre 1 e 2 horas após a ingestão, aumentando sua concentração e a taxa de absorção pela parede do ruminal, podendo afetar o metabolismo (SANTOS, 2011). De acordo com SALMAN *et al.* (1996), a baixa palatabilidade, a segregação com farelos e toxicidade com doses elevadas são fatores limitantes para utilização da ureia pelos ruminantes.

A utilização de NNP nas dietas de ruminantes supre as necessidades dos microrganismos no rúmen e facilitam os processos de fermentação (SOK *et al.*, 2017). A maioria dos pesquisadores normalmente recomendam uma substituição de até 33% do nitrogênio proteico da dieta (VELLOSO, 1984).

Em trabalho conduzido com novilhos em confinamento, submetidos a níveis crescentes de ureia (0,00; 0,65; 1,30; e 1,65% da MS total), não foi encontrado diferenças nos ganhos de pesos, sendo respectivamente, de 1,21; 1,25; 1,28 e 1,08 kg/novilho/dia (MAGALHÃES, 2005). Da mesma forma MILTON *et al.* (1997) ao fornecerem níveis crescentes de ureia (0; 0,35; 0,7; 1,05 ou 1,4% na MS) e 83% de milho laminado seco em trabalho conduzido com novilhos em terminação (347 kg de PV médio) observaram efeito quadrático no CMS, atingindo o maior valor (9,7 kg de MS) com 1,05% de inclusão de ureia.

SHAIN *et al.* (1998) conduziram trabalho com novilhos testando 4 níveis de ureia (0; 0,88; 1,34 e 1,96% na MS) e não evidenciaram diferenças no ganho de peso e conversão alimentar, mas notaram que os animais que receberam ureia foram 5,4% mais eficientes do que os animais que não receberam.

4.4. Reciclagem de nitrogênio

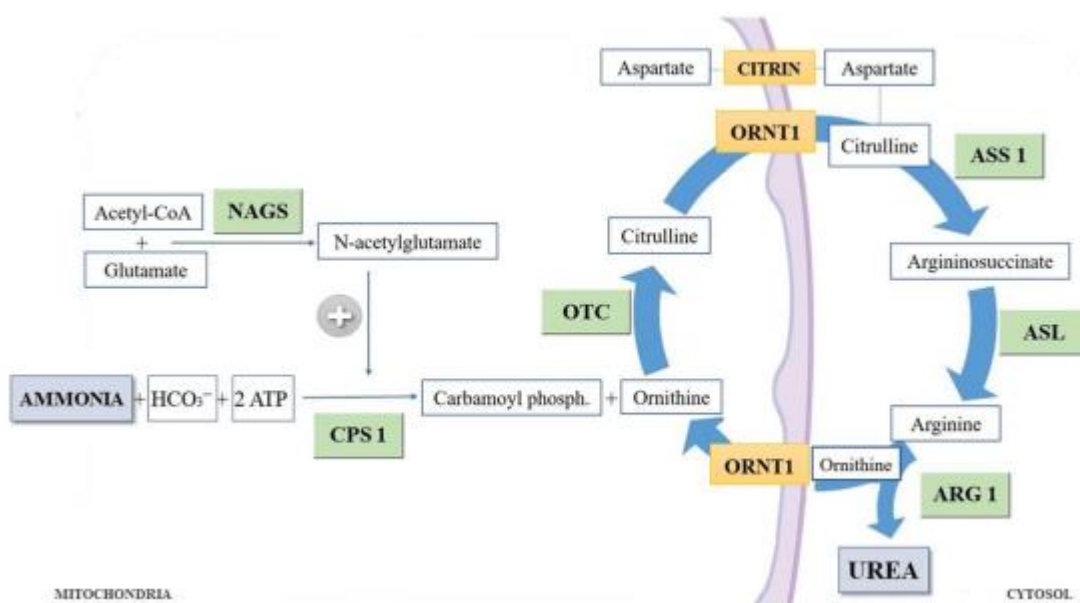
A amônia liberada no rúmen pode ser utilizada pelos microrganismos ruminais ou ser absorvida pela parede ruminal, chegando até o sangue. A amônia é tóxica ao ruminante e precisa ser convertida em ureia no fígado para ser excretada ou reciclada através da saliva, difusão direta no rúmen ou intestino (MUSCHER *et al.*, 2010).

A absorção da amônia na forma não ionizada (NH₃) é favorecida em pH ruminal mais elevado, enquanto a redução do pH promove a ionização da amônia, reduzindo sua absorção pela parede ruminal (SANTOS, 2006). De acordo com ABDOUN *et al.* (2006) a amônia na forma não ionizada passa para o sangue por difusão simples em pH igual ou maior que sete, mas quando o pH é

igual ou menor que 6,5 a amônia é absorvida em um canal de íon potássio (k+) estando predominantemente na forma ionizada.

No fígado a molécula de amônia é catalisada pela carbamoil fosfato sintetase, gastando 2 moléculas de ATP e originando o carbamoil fosfato. Após esse processo, o carbamoil fosfato reage com a ornitina para a formação da citrulina. A citrulina reage com uma molécula de aspartato, formando o arginino-succinato, que em seguida se quebra em arginina e fumarato pela ação da arginino succinato liase. A arginase quebra a arginina e volta a regenerar a ornitina, produzindo uma molécula de ureia (SANTOS, 2006). A figura 1 representa o ciclo da ureia e enzimas envolvidas nesse processo.

Figura 1 - Esquema do ciclo da ureia



Fonte: LOPES (2022).

Parte da ureia produzida no fígado pode retornar para o rúmen por difusão através do epitélio ruminal, pela saliva e pode ser excretada na urina. Esse processo ocorre de forma contínua, permitindo que os microrganismos utilizem novamente a amônia disponível proveniente da degradação da ureia que retornou ao rúmen. Isso faz com que os ruminantes sejam capazes de conservar melhor a proteína que outras espécies. A transferência de amônia entre sangue e rúmen é possível porque o nível desse composto no sangue tende a ser menor que do rúmen, e o nível de ureia do rúmen é menor que do sangue, favorecendo a reciclagem, principalmente quanto menor for a concentração de amônia no rúmen (TEIXEIRA, 1992; SANTOS, 2006).

Sabe-se que a ureia pode ser secretada na parte posterior do TGI e ser excretada nas fezes, sendo que ambientalmente é uma forma mais estável de excreção se comparado com o N-ureia urinário (DIJKSTRA *et al.*, 2011). Além disso, o fornecimento de carboidratos degradáveis no rúmen pode regular o retorno da ureia para o TGI (ONCUER *et al.*, 1990; DELGADO-ELORDUY *et al.*, 2002; WALPOLE *et al.*, 2015). Porém, nos últimos anos as pesquisas têm sido focadas na transferência de ureia a nível molecular (ABDOUN *et al.*, 2010; LU *et al.*, 2014). Agora, as proteínas facilitadoras do transporte de ureia (UT-B) estão envolvidas com a secreção de ureia no rúmen e são expressas no epitélio ruminal (STEWART *et al.*, 2005), apesar de ter acreditado por muito tempo que o retorno da ureia para o rúmen ocorria por difusão passiva simples (HOUPY, 1968).

Fatores como pH do rúmen (LU *et al.*, 2015) e produção de ácidos graxos voláteis podem alterar a expressão de transportadores de ureia UT-B (LU *et al.*, 2015; WALPOLE *et al.*, 2015). Concentrações diferentes de ácidos graxos de cadeia curta e amônia provocaram alterações na expressão de UT-B no epitélio ruminal de caprinos (LU *et al.*, 2015). Em estudo feito por SIMMONS *et al.* (2009) com novilhos alimentados com dieta a base de forragem ou de concentrado, observaram aumento da expressão da proteína UT-B com os animais alimentados com dieta a base de concentrado quando comparado aos animais que consumiram dieta a base de forragem. SCOTT *et al.* (2020) não observaram efeito de dieta com baixa forragem (30% inclusão) ou alta forragem (70% inclusão) associadas ao milho inteiro ou floculado sobre a expressão de UT-B no epitélio ruminal. No mesmo estudo, os autores avaliaram a expressão de UT-B no duodeno de cordeiros e não observaram efeitos dietéticos. No entanto, MARINI *et al.* (2004) observaram a presença e expressão de UT-A e UT-B no duodeno de cordeiros.

As aquaporinas AQP3, AQP7 e AQP10 são proteínas que também possuem papel na movimentação da ureia e sua expressão no epitélio do rúmen é influenciada pelo teor de N e fermentabilidade da dieta (RØJEN *et al.*, 2011; WALPOLE *et al.*, 2015). Em estudo feito por RØJEN *et al.* (2011) foi relatado que o aumento na ingestão de nitrogênio também aumenta a expressão e quantidade de AQP8. WALPOLE *et al.* (2015) conduzindo estudo com bezerros da raça Holandesa, relataram maior expressão de AQP3, AQP7 e AQP10 nos animais submetidos a alimentação de 21 dias com inclusão de 50% de concentrado quando comparado com os animais que receberam dieta com 91,5% de forragem.

4.5. Eficiência de utilização do nitrogênio

Os carboidratos servem como fonte de energia para os microrganismos do rúmen utilizarem na síntese de proteína microbiana. Os microrganismos do rúmen aumentam a captura do N dietético

e endógeno quando tem dieta com fonte de carboidrato facilmente fermentável no rúmen, aumentando a síntese e a quantidade de proteína metabolizável que chega no intestino delgado (LAPIERRE e LOBLEY, 2001).

Em estudo de SAIRANEN *et al.* (2005), a concentração de amônia no rúmen, excreção de nitrogênio na urina e nitrogênio ureico no leite diminuíram com aumento da suplementação de concentrado, enquanto a proteína metabolizável, produção de leite e o teor de proteína do leite aumentaram sugerindo maior utilização do nitrogênio.

Novilhos recebendo suplemento com casca de soja/milho em dietas a base de capim apresentaram menor excreção de nitrogênio urinário, maior proporção da ureia reciclada sendo incorporada na proteína microbiana, aumentando assim a retenção de N (HUNTINGTON *et al.*, 2009).

SCOTT *et al.* (2020) conduzindo trabalho com cordeiros em fase de crescimento submetidos a dietas com baixa e alta forragem (30 e 70%) e com milho inteiro ou flocado, observaram que dietas contendo milho floculado e diminuição da proporção de forragem melhoraram a utilização de N pelos animais, conseqüentemente retendo mais e excretando menos.

A quantidade de N dietético fornecido também é uma abordagem que pode ser utilizada para melhorar a eficiência de utilização do N em ruminantes. Os bovinos possuem maiores exigências de N no período inicial do confinamento devido a maior taxa de deposição de proteína, reduzindo na fase final (VASCONCELOS *et al.*, 2006). Efeitos positivos no custo da dieta e no meio ambiente podem ser alcançados se a exigência de proteína metabolizável for atendida sem excesso de PB na dieta (KALSCHEUR *et al.*, 1999).

Normalmente a excreção de nitrogênio na urina aumenta quando o teor de PB da dieta aumenta (BRODERICK, 2003). Com isso, ERICKSON *et al.* (1999), COOPER *et al.* (2000) e TRENKLE (2002) realizaram estudos com dietas à base de milho seco e redução na concentração de PB da dieta na fase final de alimentação, não observando efeitos negativos no desempenho dos animais. VASCONCELOS *et al.* (2006) realizaram dois experimentos diminuindo a concentração de PB de acordo com a fase de alimentação (d 0 ao d 62 e d 63 ao d 109). No experimento 1 de VASCONCELOS *et al.* (2006), a redução da concentração de PB da dieta (de 13 para 11,5 ou 10%) do dia 63 ao 109 não afetou o GMD. Além disso, foi detectada uma tendência no dia 109 para maior concentração de nitrogênio ureico no sangue para tratamentos com maior concentração de PB. No experimento 2 o comportamento ao reduzir o teor de PB da dieta para 11,5 ou 10,0% foi semelhante, não tendo afetado o GMD. O GMD durante todo o período de terminação foi semelhante (P=0,14) independente da concentração de PB da dieta. A concentração de nitrogênio ureico no sangue não

diferiu na mudança da dieta e na fase inicial, mas foram maiores no final do experimento para os novilhos alimentados com 13,0% PB (VASCONCELOS *et al.*, 2006).

Em contrapartida, COLE *et al.* (2006) ao realizarem estudo reduzindo a concentração de proteína bruta da dieta de 13,0 para 11,5% nos últimos 56 dias de alimentação, observaram prejuízos no desempenho animal, porém observaram diminuição na excreção e volatilização do N.

Segundo OLIVEIRA *et al.* (2020) a reciclagem de ureia, a eficiência de utilização e excreção pelo animal podem ser influenciadas pela quantidade de N dietético como também pelo local de digestão e absorção. Com isso, formas de liberação da ureia têm sido estudadas para melhorar a utilização e promover liberação constante de amônia (LIZARARO *et al.*, 2014; BATISTA *et al.*, 2016; ÍTAVO *et al.*, 2016).

O fornecimento pós-ruminal de nitrogênio pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência de utilização de N e minimizar sua excreção (OLIVEIRA *et al.*, 2020). De acordo com OLIVEIRA *et al.* (2020), fornecer ureia no abomaso incrementa a produção microbiana pela maior eficiência do uso de N, aumentando a proteína metabolizável. RUFINO *et al.* (2016) observaram maior oferta de proteína metabolizável decorrente da suplementação abomasal. SILVA *et al.* (2019) observaram também menor excreção de N por unidade ingerida em função da maior síntese muscular, aumentando assim a eficiência do uso de N.

4.6. Ureia de liberação pós-ruminal – Trouw Nutrition

O produto de ureia de liberação pós-ruminal desenvolvido pela empresa Trouw Nutrition é um protótipo não comercial que contém 82% de ureia com base na MS, possuindo 18% a menos de N que a ureia de liberação convencional devido a presença do revestimento de óleo de palma. Esse produto foi utilizado no experimento com objetivo de alterar o local de liberação da ureia para o pós-rúmen, evitando sua rápida hidrólise no ambiente ruminal. A liberação no rúmen é cerca de 28%, sendo a maior fração liberada e absorvida no pós-rúmen (72%). A figura 2 mostra um comparativo entre uma fonte de ureia convencional e de ureia pós-ruminal.

Figura 2 - Comparativo entre ureia convencional e ureia pós-ruminal.

Ureia Pós-Rúmen

Tabela 1 - Comparação entre os dois produtos em experimentação *in vitro* (g/kg).

Característica	Produto	
	Ureia Convencional	Ureia Pós-Ruminal
Conteúdo de ureia	≥ 980	890
Conteúdo de gordura	ND	110
Proteção Ruminal	ND	728
Digestibilidade	ND	929

ND = Não Definido

RAUCH et al. 2022

9

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABDOUN, K.; STUMPF, F.; MARTENS, H. 2006. Ammonia and urea transport across the rumen epithelium: a review. **Animal Health Research Reviews**, v. 7, p. 43-59.

ABDOUN, K.; STUMPF, F.; RABBANI, I. and MARTENS, H. 2010. Modulation of urea transport across sheep rumen epithelium in vitro by SCFA and CO₂. **American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 298, p. 190-202.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. 2020. Exportações brasileiras de carne bovina. Disponível em: <https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>. Acesso em: 09/02/2023.

AZEVEDO, E.B.; PATIÑO, H.O; SILVEIRA, A.L.F; LOPEZ J.; BRUNING, G.; KOZLOSKI, V. 2008. Incorporação de uréia encapsulada em suplementos protéicos fornecidos para novilhos alimentados com feno de baixa qualidade. **Ciência Rural**, v. 38, n. 5, p. 1381-1387.

BATISTA, E.D.; DETMANN, E.; TITGEMEYER, E.C.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D.; PRATES, L.L.; PAULINO, M.F. 2016. Effects of varying ruminally undegradable protein supplementation on forage digestion, nitrogen metabolism, and urea kinetics in Nellore cattle fed low-quality tropical forage. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 1, p. 201- 216.

BERCHIELLI, T.; PIRES, A.V; OLIVEIRA, S.G. 2006. Nutrição de ruminantes. **Jaboticabal: Funep**, 583p.

BRODERICK, G.A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 1370–1381.

CHIZZOTTI, M.L.; TEDESCHI, L.O.; VALDARES FILHO, S.C. 2008. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v.86, n.7, p.1588-1597.

COLE, N.A.; CLARCK, R.N.; TODD, R.W.; RICHARDSON, C.R.; GUEVE, A., GREENE, L.W.; MACBRIDE, K. 2005. Influence of dietary crude protein concentration and source on potential ammonia emissions from beef cattle manure. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 722-731.

COLE, N.A.; DEFOOR, P.J.; GALYEAN, M.L.; DUFF, G.C.; GLEGHORN, J.F. 2006. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 3421–3432.

- COOPER, R. J., MILTON, C.T. and KLOPFENSTEIN, T.J. 2000. Phase-feeding metabolizable protein for finishing steers. In **Nebraska Beef Report. Univ. of Nebraska, Lincoln**. p. 63–65
- COWLEY, F. et al. 2019. Recent advances to improve nitrogen efficiency of grain-finishing cattle in North American and Australian feedlots. **Animal Production Science**, v. 59, p. 2082–2092.
- DE CARVALHO, I.P.C.; DOELMAN, J.; MARTÍN-TERESO, J. 2019. Post-ruminal non-protein nitrogen supplementation as a strategy to improve fibre digestion and N efficiency in the ruminant. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, n. 1, p. 64-75.
- OLIVEIRA, C.V.; SILVAR, T.E.; BATISTA, E.D.; RENNÓ, L.N.; SILVA, F.F.; DE CARVALHO, I.P.C.; DETMANN, E. 2020. Urea supplementation in rumen and post-rumen for cattle fed a low-quality tropical forage. **British Journal of Nutrition**, v. 124, n. 11, p. 1166-1178.
- DELGADO-ELORDUY, A.; THEURER, C.B; HUBER, J.T; ALIO, A.; LOZANO, O.; SADIK, M.; CUNEO, P.; DE YOUNG, H.D.; SIMAS, J.; SANTOS, J.E.P.; NUSSIO, L.; WEBB JR., K.E. and TAGARI, H. 2002. Splanchnic and mammary nitrogen metabolism by dairy cows fed steam-rolled or steam-flaked corn. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p. 160-168.
- DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; QUEIROZ, A.C.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.O.S.; CABRAL, L.S.; PINA, D.S.; LADEIRA, M.M.; and AZEVEDO, J.A.G. 2012. Métodos para análise de alimentos. (In Portuguese.) Suprema, Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, Brazil.
- DIJKSTRA, J.; OENEMA, O. and BANNINK, A. 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: Implications for methane emissions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, p. 414- 422.
- EGAN, A. R 1965. The fate and effects of duodenally infused casein and urea nitrogen in sheep fed on a low-protein roughage. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 2, p. 169-177.
- FIGUEIREDO, D.M.D.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; DE MORAES, E.H.B.K.D.; VALADARES FILHO, S.D.C.; SOUZA, M.G.D. 2008. Fontes de proteína em suplementos múltiplos para bovinos em pastejo no período das águas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 2222-2232.
- FIRKINS, J. L.; YU, Z.; MORRISON, M. 2007. Ruminant nitrogen metabolism: perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. E1-E16.
- HALES K.E., COLE, N.A.; MACDONALD, J. C. 2012. Effects of corn processing method and dietary inclusion of wet distillers grains with solubles on energy metabolism, carbon nitrogen balance, and methane emissions of cattle. **Journal of Animal Science** v. 90, p. 3174–3185.

- HOUPT, T. R. and HOUPT, K.A. 1968. Transfer of urea nitrogen across the rumen wall. *Am. J. Physiol.* v. 214, p. 1296-1303.
- HUNTINGTON, G. B.; MAGEE, K.; MATTHEWS, A.; POORE, M. and BURNS, J. 2009. Urea metabolism in beef steers fed tall fescue, orchardgrass, or gamagrass hays. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1346- 1353.
- ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C.C.B.F; DIAS, A.M.; FRANCO, G.L.; PEREIRA, L.C.; LEAL, E.S.; SOUZA, A.R.D.L. 2016. Combinações de fontes de nitrogênio não proteico em suplementos para novilhos Nelore em pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 448-460.
- KALSCHEUR, K. F.; VANDERSALL, J.H.; ERDMAN, R.A.; KOHN, R.A. and RUSSEK-COHEN, E. 1999. Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 82, p. 545-554.
- KLOPFENSTEIN, T.J.; ANGEL, R.; CROMWELL, G.L.; ERICKSON, G.E.; FOX, D.G.; PARSONS, C.; SATTER, L.D. and SUTTON, A.L. 2002. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. **Council for Agric. Sci. Technol.** Issue Paper No.21. CAST, Ames, IA.
- KONONOFF, P.J.; HEINRICHS, A.J.; BUCKMASTER, D.R. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 5, p. 1858–63.
- LAPIERRE, H.; LOBLEY, G.E. 2001. Nitrogen recycling in the ruminant: A review. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. E223-E236.
- LIZARARO, A.C.; MENDOZA, G.D.; KÚ, J.; MELGOZA, L.M.; CROSBY, M. 2014. Effects of slow-release urea and molasses on ruminal metabolism of lambs fed with low-quality tropical forage. **Small Ruminant Research**, v. 116, n. 1, p. 28-31
- LOPES, F. F. (2022). Avaliação in vivo do dano oxidativo a biomoléculas e da inflamação em pacientes portadores de Doenças do Ciclo da Ureia: aspectos clínicos e bioquímicos na hiperamonemia. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS**, p. 162. 2022. (Dissertação de Mestrado em Ciências Farmacêuticas).
- LU, Z.; GUI, H.; YAO, L.; YAN, L.; MARTENS, H.; ASCHENBACH, J.R. and SHEN, Z. 2015. Short-chain fatty acids and acidic pH upregulate UT-B, GPR41, and GPR4 in rumen epithelial cells of goats. **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 308, p. R283-R293.

- LU, Z.; STUMPF, F.; DEINER, C.; ROSENDAHL, J.; BRAUN, H.; ABDOUN, K.; ASCHENBACK, J.R. and MARTENS, H. 2014. Modulation of sheep ruminal urea transport by ammonia and pH. **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 307, p. R558-R570.
- MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. 2005. Produção de Proteína Microbiana, Concentração Plasmática de Uréia e Excreções de Uréia em Novilhos Alimentados com Diferentes Níveis de Uréia ou Casca de Algodão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p. 1400-1407.
- MARCONDES, M.I.; GIONBELLI, M.P.; VALADARES FILHO, S.C.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, M.F. 2010. **Exigências Nutricionais de Proteína para Bovinos de Corte**. In: S.C. Valadares Filho, M.I. Marcondes, M.L. Chizzotti e P.V.R. Paulino (ed). Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados – BR-CORTE. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda. p.113-134.
- MARINI, J.C.; KLEIN, J.D.; SANDS, L.M. and VAN AMBURGH, M.E. 2004. Effect of nitrogen intake on nitrogen recycling and urea transporter abundance in lambs. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 1157-1164.
- MAY, M.; DECLERCK, J.; QUINN, M.; DILORENZO, N.; LEIBOVICH, J.; SMITH, D.; HALES, K.; GALYEAN, M.L. 2010. Corn or sorghum wet distillers grains with solubles in combination with steam-flaked corn: feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 88, p. 2433–2443.
- MCBRIDE, K.W. 2003. Nitrogen and phosphorus utilization by beef cattle fed three dietary crude protein levels with three supplemental urea levels. Ph.D. Diss. **Texas Tech University, Lubbock**.
- MEDEIROS, J.A.V. 2013. Análise da viabilidade econômica de Sistema de confinamento de bovinos de corte em goiás: aplicação da Teoria de opções reais. **Universidade Federal de Goiás - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia - GO**, p. 58. (Dissertação de Mestrado em Agronegócio).
- MILTON, C. T.; BRANDT, R. T. Jr.; TITGEMEYER, E. C. 1997. Urea in dry-rolled corndiets: finish steer performance, nutrient digestion, and microbial protein production. **Journal of Animal Science**, v. 75, p. 1415-1424.

- MOREIRA, S. A. 2010. Desenvolvimento de um modelo matemático para otimização de sistema integrado de produção agrícola com terminação de bovinos de corte em confinamento. **Universidade Federal de Brasília. Brasília - DF**, p. 146. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).
- MUSCHER, A.S.; SCHRODER, B.; BREVES, G.; HUBER, K. 2010. Dietary nitrogen reduction enhances urea transport across goat rumen epithelium. **Journal of Animal Science**, v. 88, p. 3390 – 3398.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1985 - NRC. Ruminant nitrogen usage. **Washington D.C.** 138p.
- OBEID, J.A.; PEREIRA, O.G.; PEREIRA, D.H.; VALADARES FILHO, S.C., CARVALHO, I.P.C.; MARTINS, J.M. 2006. Crude protein levels in beef cattle diets: intake, digestibility and performance. **Braz. Journal of Animal Science**, v. 35, p. 2434–2442.
- OLMEDO, D. A. O.; LÓPEZ, J.; BARCELLOS, J. O. J. et al. 2010. Desenvolvimento e validação de um modelo preditor do desempenho de novilhos de corte sob suplementação em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 402-410.
- ONCUER, A.; MILNE, J.S. and WHITLAW, F.G. 1990. The effect of a hindgut fermentation on urea metabolism in sheep nourished by intragastric infusion. **Experimental Physiology**, v. 75, p. 689-700.
- PAIXÃO, M.L.; VALADARES FILHO, S.C.; LEÃO, M.I.; VALADARES, R.F.D.; PAULINO, M.F.; MARCONDES, M.I.; FONSECA, M.A.; SILVA, P.A.; PINA, D. dos S. 2006. Ureia em dietas para bovinos: consumo, digestibilidade aparente, ganho de peso, característica de carcaça e produção microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2451-2460.
- POSADA, S.L.; NOGUERA, R.R.; RODRIGUEZ N.M. et al. 2011. Energy requirements for beef cattle: concepts and experimental results in tropical conditions. **Revista Colombiana de Ciência Pecuária**, v. 24, p. 623-633.
- RØJEN, B.A.; POULSEN, S.B.; THEIL, P.K.; FENTON, R.A.; KRISTENSEN, N.B. 2011. Short communication: Effects of dietary nitrogen concentration on messenger RNA expression and protein abundance of urea transporter-B and aquaporins in ruminal papillae from lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 94, p. 2587-2591.
- RUFINO, L.M.A.; DETMANN, E.; GOMES, DÍ; DOS REIS, W.L.S.; BATISTA, E.D.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. 2016. Intake, digestibility and nitrogen utilization in cattle fed tropical forage and supplemented with protein in the rumen, abomasum, or both. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 7, n.1, p. 1-10.

- SAIRANEN, A.; KHALILI, H.; NOUSIAINEN, J.I; AHVENJARVI, S. and HUHTANEN, P. 2005. The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 4, p. 1443-1453.
- SALMAN, A.K.D.; MATARAZZO, S.V., EZEQUIEL, J.M.B et al. 1996. Estudo do Balanço nitrogenado e da digestibilidade da matéria seca e da proteína de rações para ovinos suplementados com amirreia, uréia ou farelo de algodão. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v. 33, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. p. 197 – 199.
- SAMUELSON, K. L.; HUBBERT, M. E.; GALYEAN, M. L. and LÖEST, C. A. 2016. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2015 New Mexico State and Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 2648-2663.
- SANTOS F.A.P.; PEDROSA, A.M. 2011. Metabolismo de Proteínas. In: Berchielli TT, Pires, AV, Oliveira SG. Nutrição de Ruminantes. 2. ed. Jaboticabal: Funep, Cap. 9, p. 265- 297.
- SANTOS, F.A.P. 2006. Metabolismo de Proteínas. In. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 538- 601.
- SANTOS, F.A.P. 2006. Metabolismo de Proteínas. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Ed.). Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 255-286.
- SANTOS, J.F; DIAS JUNIOR, G.S; BITENCOURT, L.L; LOPES, N.M. Resposta de vacas leiteiras à substituição parcial de farelo de soja por uréia encapsulada. **Arq. Brás. Med. Zootec.**, v. 63, n. 2, p. 423- 432, 2011.
- SCOTT, K. A.; PENNER, G. B.; MUTSVANGWA, T. 2020. Influence of forage level and corn grain processing on whole-body urea kinetics, and serosal-to-mucosal urea flux and expression of urea transporters and aquaporins in the ovine ruminal, duodenal, and cecal epithelia. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 4, p. 1-16.
- SHAIN, D. H.; STOCK, R. A.; KLOPFENSTEIN, T. J. et al. 1998. Effect of degradable intake protein level on finishing cattle performance and ruminal metabolism. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 242-248.
- SILVA, L.F.P.; DIXON, R.M.; COSTA, D.F.A. 2019. Nitrogen recycling and feed efficiency of cattle fed protein-restricted diets. **Animal Production Science**, v. 59, n. 11, p. 2093-2107.
- SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. 2021. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50.

- SIMMONS, N.L., CHAUDHRY, A.S.; GRAHAM, C.; SCRIVEN, E.S.; THISTLETHWAITE, A.; SMITH, C.P. and STEWART, G.S. 2009. Dietary regulation of ruminal bovine UT-B urea transporter expression and localization. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 3288-3299.
- SOARES, J. C. D. R. 2012. Avaliação econômica da terminação de bovinos em pastagem irrigada. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS**, p. 100. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia).
- SOK, M.; OUELLET, D.R.; FIRKINS, J.L.; PELLERIN, D.; LAPIERRA, H. 2017. Amino acid composition of rumen bacteria and protozoa in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5241-5249.
- STEWART, G. and SMITH, C. 2005. Urea nitrogen salvage mechanisms and their relevance to ruminants, non-ruminants and man. **Nutrition Research Reviews**, v. 18, p. 49-62.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; KONONOFF, P.J. 2013. A dynamic model to predict fat and protein fluxes and dry matter intake associated with body reserve changes in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 4, p. 2448-2463.
- TEIXEIRA, J. C. 1992. Nutrição de ruminantes. Lavras, MG: Edições FAEPE, 239p.
- TODD, R. W., N. A. COLE, and R. N CLARK. 2006. Reducing crude protein in beef cattle diet reduces ammonia emissions from artificial feedyard surfaces. **Journal of Environmental Quality**, 35, p. 404-411.
- TRENKLE, A. 2002. Programmed feeding of protein to finishing beef steers. A. S. Leaflet R1774, Beef Res. Rep. Iowa State Univ., Ames. Available: <http://www.iowabeefcenter.org> Accessed Feb. 23.
- VALADARES FILHO, S. C.; COSTA E SILVA, L. F.; LOPES, S. A.; PRADOS, L. F.; CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, P. A. S.; BISSARO, L. Z. and FURTADO, T. 2016. BR-CORTE 3.0. Cálculo de exigências nutricionais, formulação de dietas e predição de desempenho de zebuínos puros e cruzados. 3.ed. Suprema Gráfica Ltda, Visconde do Rio Branco.
- VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L. et al. 2010. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR-CORTE. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 193p.
- VALADARES FILHO, S.C.; COSTA e SILVA, L.F.; GIONBELLI, M.P. et al. 2016. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados – BR CORTE. 3.ed. Viçosa: UFV, Suprema Gráfica Ltda., 327p.

VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R.; MAGALHÃES, K.A. et al. 2006. Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos – BR CORTE. 1.ed. Viçosa: UFV, Suprema Gráfica Ltda. 2006, 142p.

VASCONCELOS, J.T. and GALYEAN, M.L. 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: the 2007 Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science** v. 85, p. 2772-2781.

VELLOSO, L. 1984. Uréia em rações de engorda de bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS - URÉIA PARA RUMINANTES, 2., 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.174-199

WALPOLE, M. E., SCHURMANN, B.L.; GÓRKA, P.; PENNER, G.B.; LOEWEN, M.E. and MUTSYANGWA, T. 2015. Serosal-to-mucosal urea flux across the isolated ruminal epithelium is mediated via urea transporter-B and aquaporins when Holstein calves are abruptly changed to a moderately fermentable diet. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p. 1204-1213.

SEGUNDO CAPÍTULO

IMPACT OF CRUDE PROTEIN LEVEL AND UREA SOURCE ON FINISHING PERFORMANCE OF NELLORE BULLS

Abbreviations:

ADG, average daily gain;

ALP, alkaline phosphatase;

AST, aspartate aminotransferase;

BW, body weight;

CP, crude protein;

CW, carcass weight;

DMI, dry matter intake;

GGT, gamma glutamyl transferase;

HCW, hot carcass weight;

LM, *longissimus* muscle;

PRU, post-ruminal release urea;

Introduction

From 2011 to 2021, Brazil has increased the beef production more than all the other countries and is the world largest beef exporter (ABIEC, 2022). Along with this, the percentage of feedlot animals slaughtered in relation to the total number of slaughtered heads increased from 12.6 to 17.2% in the last 3 years, corresponding approximately 5% (ABIEC, 2019; 2022).

Protein is an expensive nutrient of beef cattle nutrition; therefore, attention should be paid to crude protein (CP) requirements. Consulting nutritionists from the feedlots in Brazil, Silvestre and Millen et al. (2021) reported that most feedlots formulate finishing diets with 14% CP. Nevertheless, beef cattle may convert 20% to 30% of their dietary N into animal protein, consequently, about 70% to 80% is excreted in the urine and feces. The excess dietary N that is excreted accumulates in the atmosphere, soil, and groundwater and is detrimental to the ecosystem (NASEM, 2016). Promising strategies to alleviate N excretion and improve N retention involve manipulating the dietary CP concentration. Based on animal requirements, there is potential to decrease dietary concentrations of N in beef feedlot diets compared with current nutritional practices (Silvestre and Millen, 2021). Reducing the dietary CP content in finishing diets can decrease N excretion, mainly via urine (Amaral et al., 2014; Menezes et al., 2016). Furthermore, it is expected that the CP intake reduction can be compensated by recycling N into the rumen (Cole et al., 2012).

Nevertheless, under typical feeding conditions, decreasing CP concentrations in finishing diets could potentially cause adverse effects on DM intake and growth (Galyean, 1996). Recent results have shown that increasing inclusion of CP in growing or finishing diets from 10% to 14% CP did not affect DMI (Amaral et al., 2018; Menezes et al., 2019). However, Cole et al. (2003) reported that steers fed finishing diets during the first 56 d containing 14% CP had greater DMI than steers fed diets containing 12% CP.

A recent study demonstrated that replacing feed grade urea by post-ruminal release urea as source of non-protein N can enhance body weight gain in finishing beef cattle as improve N efficiency (Fávero et al., no prelo). The urea presents a rapid hydrolysis to ammonia in the rumen by microbial enzymes, which generally reached a peak 1 to 4 h post-feeding in meal-fed animals and decline thereafter. The very rapid degradation to ammonia is often faster than the ammonia can be utilized by rumen microbes, resulting in ammonia being absorbed through the rumen wall as the ammonium ion (Satter and Roffler, 1975), which is converted to urea and subsequently excreted in urine. On the other hand, post-ruminal release urea provides a more adequate ruminal ammonia N for microbial growth in the rumen, decreasing urea-N excretion, and can improve N accretion in the body (Oliveira et al., 2020).

Our objective will be to determine the effects of CP concentration and source of non-protein N on feedlot performance, carcass characteristics, blood metabolites concentrations. We hypothesize that replacing the regular feed grade urea by a post-rumen urea release (PRU) as non-protein N source in a lower CP diet (11% CP) would decrease ruminal ammonia-N concentration and stimulate urea N recycling to the rumen, increasing the overall N efficiency. In this sense, a similar performance could be expected compared to bulls fed a regular CP diet (14% CP).

Material and Methods

The Ethics and Animal Welfare Committee of the Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras; protocol No. 025/2022) approved the experimental procedures. The trial was conducted at the Experimental Feedlot of the Department of Animal Science (DZO), College of Animal Science and Veterinarian Medicine (FZMV), Federal University of Lavras in Lavras, Minas Gerais, Brazil.

Whole-plant sorghum silage and rehydrated and ensiled corn

Sorghum silage was cut into a theoretical cutting length of 5 mm and ensiled in a trench silo 42m long × 5m wide x 1.5m high. For silage fermentation to be allowed, the silo was closed for at least 2 months before the test begins. The silage was sampled every fortnight to determine the DM content (oven drying at 55 °C for 48 h), and the inclusion level of the sorghum silage was adjusted if the silage DM content deviates by > 3% from the average. Corn grain with vitreous endosperm was purchased commercially, with expected moisture content between 11 and 14%, and stored in metallic tubular silos until use. Before the beginning of the experimental period, the corn sample was ground in an 8mm sieve (Wiley mill; Thomson Scientific Inc., Philadelphia, PA) using a stationary Nogueira TN-8 mill (Nogueira Máquinas Agrícolas, São João da Boa Vista, SP) to analyze the MS, where it was ground in a 1 mm diameter mesh sieve (MS, AOAC Official Method 934.01).

To prepare the rehydrated corn, water was added based on the analyzed DM of the ground corn until the DM decreases to approximately 65%. The addition of tap water was done in a wagon during mixing. After approximately 10 minutes of mixing, the reconstituted corn grains was ensiled in trench-type reinforced concrete silos (1.20 m internal diameter x 10 m long x 1.60 m high) with 15.0 cm wall thickness.

Experimental design, animals, and housing

Eighty-four Nelore bulls (24-mo age, and 448 ± 40.5 kg initial body weight [BW], mean \pm SD) were stratified by BW from light to heavy, allocated to 7 groups of 4 replicate pens (28 pens in total; 7 pens of 3 bulls for each treatment) of equal BW and randomly block design (initial PV), in a 2 x 2 factorial arrangement (2 crude protein levels and 2 urea sources) to test interactions between urea sources (US; conventional release urea and post-ruminal release urea) and dietary crude protein levels (CP; 11% crude protein and 14% crude protein). The bulls were housed in a partially covered and concrete floor pens (4 x 10 m) and a common automatic water fountain was shared between 2 adjacent pens. On arrival to the feedlot, before step-up diets, bulls were fed a diet containing (DM basis) 90% Sorghum Silage, 4.2% ground corn, 3.9% soybean meal, 0.45% urea, and 1.45% mineral mixture. Prior to the onset of the experiment, bulls were dewormed (Dectomax; Zoetis, Brazil) and vaccinated against rabies (Raivacel; Vallee S/A, Vinhedo, São Paulo, Brazil), respiratory diseases and Leptospirosis (CattleMaster® 4+L5; Zoetis), and prophylaxis of botulism and other diseases of ruminants (StarVac®; Labovet Produtos Veterinários Ltda, Feira de Santana, Bahia, Brazil). After a period of 10 d for adaptation to the facilities, bulls were then gradually adapted to the experimental diets over 14-d using 3 step-up diets (4-d for step 1 and 5-d for step 2 and 3), each with an incremental increase in 20% of the final diet (from 40 to 60 to 80, respectively) until reaching the proportion of 76% of concentrate and 24% of corn silage per dietary DM. The experimental period lasted for 90 d, which 14-d of adaptation period and 76 d of finishing period.

Dietary Treatments

Experimental diets consisted of 1) 11% crude protein (CP) with conventional release (UC) urea (11% CP + UC); 2) 11% crude protein (CP) with post ruminal release urea (PRU) (11% CP + PRU); 3) 14% crude protein (CP) with conventional release (UC) urea (14% CP + UC); 4) 14% crude protein (CP) with post-ruminal release urea (PRU). The diets consisted of 3.4% pelleted soybean hulls (diets with 11% crude protein), 5.4% soybean meal (diets with 14% crude protein), and remainder of the diets consisted of 0.04% sulfur flower (diet with 14% crude protein) and 3.0% of a mineral, vitamin, and monensin (Table 1). Monensin will be added to all experimental diets (20mg/Kg DM). A commercial PRU product (N4C4®, SIPENA SAS, St Malo, France) was supplemented at 1.2% DM in the diet 11% CP + PRU and 1.56% DM in the diet 14% CP + PRU, for bulls to consume approximately 140 g and 180 g daily of N4C4® respectively, a blended, controlled release urea product in a palm oil coating to protect against ruminal fermentation. Post-ruminal release urea

contained 82% urea on DM basis ($230\% \text{ CP} = 82\% \text{ urea} \times 45\% \text{ N} \times 6.25 \times 100$), which has 18% less N than urea due to the vegetable oil coating of **PRU**. The 14% **CP + PRU** treatment was used as a standard diet commonly used in Brazilian feedlots, considering the recommendations for the primary source of grains, CP concentration, additive utilized, urea concentration, and bulky: concentrated ratio in a survey of nutritional strategies adopted by nutritionists in Brazilian feedlots by Silvestre and Millen (2021). All experimental diets were formulated to provide energy, protein, minerals, and vitamins to meet the requirements according to NASEM (2016) for finishing Nellore steers, with an estimated ADG of 1.8 kg/day.

Feeding management and measurements

The total mixed rations were manually mixed and offered ad libitum twice a day (0800 and 1600 h). Bulls will have access to feed and fresh water freely. The fresh feed offered to each pen will be adjusted so that the feed that is refused does not exceed 5% of the daily intake based on the previous 2 days' DMI. Before supplying the first treatment, the trough will be scored and the feed leftovers will be collected at 07:00h, weighed and a representative sub-sample will be partially dried in a forced ventilation oven at 55°C for 72h for later measurement of feed intake. Biweekly DM contents of corn silage and REC were used to adjust the ingredient proportions of the diets if DM deviated by >3% from the average. The weekly samples collected were ground using a knife mill to pass through a 1-mm screen. Laboratory DM of samples were determined by drying at 105°C for 16 h. The dry matter intake of each pen will be calculated by the difference between the amount of feed offered and the amount of feed refused at the end of each week ($\text{DMI} = \text{amount of feed offered in the DM} - \text{the amount of feed refused in the DM}$).

Samples of sorghum diets and silage were classified and separated by the Penn State Particle Separator method (PSPS), in which the sieves were arranged in the following order: 19mm sieve at the top, 8mm sieve second, 4mm sieve, and finally a tray fitted on the 4mm sieve. The sieve set was placed on a flat surface, and approximately 400 g of diet sample was spread out on the top sieve. The sieve set was shifted horizontally on the flat surface 5 times, rotated one-fourth turn, and shifted 5 times again, according to Kononoff et al. (2003) and Gentry et al. (2016).

Animal Performance

Once the bulls were allocated to their respective treatment groups, they were reweighed individually (non-fasted) on d 0, d 50 and d 90 of the experiment between 0700 and 1000 h and before the delivery of fresh feed. Shrunken BW at d 50 was estimated by using a non-linear equation developed

for Zebu cattle to account for gut fill ($0.88 \times BW^{1.0175}$; Valadares Filho et al., 2016). Average daily gain was calculated as the difference between the initial, intermediate, and final shrunk BW divided by the number of days of each period or overall, and G:F ratio was calculated as ADG divided by DMI for each period and overall.

At the end of the trial, bulls were transported to a commercial abattoir (Supremo Carnes, Campo Belo, MG, Brazil) for slaughter. Pre-harvest handling was conducted in accordance with good animal welfare practices, and slaughtering procedures followed strict guidelines established and regulated by the Sanitary and Industrial Inspection Regulation for Animal Origin Products in Brazil (Brazil, 1997). Carcass dressing was calculated based on the final carcass weight and BW ratio after filling accounting. The carcass ADG was determined considering the difference between final and initial carcass weights.

On the same days of weighing, ultrasonographic measurements of the Longissimus muscle area (AML), dorsal fat thickness (BFT) and rump fat thickness (TF) were performed by ultrasound (Aoka Echo Camera Model SSD-500, Campinas, SP, Brazil) with a linear probe of 3.5 MHz and 17.2 cm in length. The AML was measured in a cross section on the 12th rib, the BFT was measured in a longitudinal section on the 12th rib and the TF was measured in a longitudinal section on the animal's rump.

Blood sample collection and analysis

Blood samples on all bulls were obtained before feeding on d 49 of the trial. At each sampling point, 3 blood samples were collected from the jugular vein: one 10 ml treated tube containing separator gel and a coagulation accelerator (BD Vacutainer® SST II Plus), a 10 ml vacuum tube (BD Vacutainer®) containing heparin (143 IU) and a 4 ml tube treated with NaF/EDTA (BD Vacutainer®, São Paulo, Brazil). Immediately after collection, the blood samples were placed on ice, and thereafter centrifuged at $2,500 \times g$ for 15 min at 4°C to harvest the serum or plasma. Plasma and two samples of serum were recovered and stored at -20°C.

To measure energy metabolism, NaF/EDTA treated tube of whole blood was used to measure glucose concentrations using a quantitative colorimetric kit (K082-2; Quibasa Química Básica Ltda; Belo Horizonte, MG, Brazil). The first serum sample was used to measure protein metabolism parameters (albumin, creatinine, total protein, and urea); enzymes and hepatic markers [alkaline phosphatase (ALP), aspartate aminotransferase (AST), and gamma glutamyl transferase (GGT)]. Albumin was analyzed by bromocresol green colorimetric method (K040-1); aspartate aminotransferase (AST; also called aspartate transaminase) was determined using the AST/GOT Liquiform kit (K048-6) by the UV-IFCC continuous kinetic method; alanine aminotransferase (ALT;

also called ALT/TGP) by the kinetic test (K049-6); creatinine was measured colorimetrically by end-point reaction and alkaline picrate – Jaffe’s method (K222-1); gamma glutamyltransferase (GGT; also called gamma-glutamyl transpeptidase) was quantified by the kinetic method with a modified Szasz procedure using the GamaGT Liquiform kit (Reference 105); total proteins was determined by biuret colorimetric end-point reaction (K031-1); and urea was determined by the enzymatic UV photometric method using fixed time kinetic (K056-1). All serum samples were analyzed colorimetrically with an automatic biochemical analyzer (BS200E, Mark Mindray; Model BS200E; Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., China). The second serum sample was used to evaluate IGF-I concentration. Concentrations of IGF-I were determined using an immunometric chemiluminescence immunoassay (Immulite 2000 IGF-I Assay, Erlangen, Germany).

Statistical analysis

One bull (11% CP + PRU) was removed from the study within the first 6 wk due for reasons unrelated to treatment and the corresponding data was removed prior to statistical analysis. All statistical analyses were conducted using the MIXED procedure of SAS 9.4 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Pen was the experimental unit (all the bulls within a pen belong to the same treatment group) and bulls as replicates. The model was fitted with individual animal data and included the fixed effects of CP, US, and the CP × US interaction as well as a random effect of pen nested within treatment (St-Pierre, 2007). In addition to overall growth performance, ADG and G:F were analyzed using a carcass-adjusted final BW calculated by dividing the HCW by the common dressing percentage of 55.63% (the mean dressing percentage over all replicates included on the study) to account for possible differences in gut-fill during weigh-out and allow for more accurate evaluation of cattle growth. The IBW and carcass variables were used as a covariate for growth performance variables when was deemed significant at $P < 0.05$. When significant CP × US interactions were detected ($P < 0.10$), pairwise comparisons of the simple effect means were conducted with the PDIFF option of the MIXED procedure of SAS. Differences were considered significant at $P \leq 0.05$ and trends were discussed at $0.05 < P < 0.10$.

Results and Discussion

The two experimental diets used in the experiment were formulated to be similar in energy, with soybean meal directly replacing soyhulls to cause the increase in protein (Table 1). Soybean meal was used because it is the primary source of protein used by feedlots nutritionists in Brazil (Silvestre and Millen, 2021). We calculated the net energy supply based on equations from the

NASEM (2016), and per our calculations, metabolizable protein supply was expected to limiting in the 11% CP diet. Additionally, the DM, NDF, CP and ruminally degradable protein from urea source, NNP, ether extract, starch, Ca, and P concentrations were formulated to be similar across diets. Therefore, only dietary CP and urea source varied so that these responses could be evaluated.

Effects of dietary CP concentration \times urea source level were not detected ($P \geq 0.13$) for any feedlot growth performance, carcass traits, and blood metabolites variables (Tables 2 to 4), except a tendency for blood AST concentration ($P = 0.08$). Contrary to our hypothesis, bulls fed 14% CP presented greater BW and ADG at d 90 ($P \leq 0.04$) than those fed 11% CP (608 vs. 594 kg and 1.93 vs. 2.14 kg/day, respectively). There have been mixed results on the effect of increasing dietary CP concentration in finishing diets on DMI (kg/day) in finishing cattle (Galyean, 1996; V eras et al., 2007; Menezes et al., 2016; Amaral et al., 2018). As approximately 60 to 90% of variations in animal performance depend on DMI (Mertens, 1994), in the current experiment, increasing dietary CP level in finishing diets tended to improve DMI ($P = 0.08$) and, consequently, reflecting on feed efficiency ($P = 0.10$). In average, 14% CP diets promoting an increase of 6% on feed efficiency compared to 11% CP diets.

Although there was not effect of urea source on growth performance (Table 2), post-ruminal release urea (average of PRU-containing diets) inclusion tended to increase feed efficiency to ADG-adjusted and carcass feed efficiency, in average 10% ($P = 0.06$), which can be attributed to the numeric decreased of DMI. The positive effect of PRU on feed efficiency could be associated with the supplying of N compounds to rumen microbes and the adequacy of the available absorbed nutrients (Egan and Moir, 1965; Lee et al., 1987; Leng, 1990; Detmann et al., 2014). The first way to improve of improving the utilization of dietary nutrients by ruminants is to optimize the availability of nutrients from rumen fermentation. This can be achieved by ensuring that there are no nutrient deficiencies to the rumen microorganisms. This will allow them to grow efficiently and, through fermentative activity, extract the maximum possible amount of energy from dietary carbohydrates (Detmann et al., 2009; Leng, 1990; Detmann et al., 2014). As part of PRU is resistant to rumen fermentation (72%) and it would transfer into the post-ruminal gastrointestinal tract in parallel with the relatively constant rate of digesta passage from the rumen (Nichols et al., 2022). If intestinal release and absorption of PRU are steady in accordance with its passage into the intestine, this could result in steady urea and ammonia absorption and hepatic ureagenesis. In this sense as reviewed by Nichols and others (2022), probably the association of PRU with a low-CP diet (i.e., 11% CP) promoted a greater and more efficient microbial synthesis, due to a higher return of urea-N to the rumen and avoids peaks in ruminal ammonia nitrogen concentration associated with feeding.

Treatment means for carcass characteristics are presented in Table 3. As designed, initial carcass weight was not different among treatments ($P > 0.89$). Nevertheless, contrary to others studies

(Menezes et al., 2016; Amaral et al., 2018), dietary CP concentration affect positively the hot carcass weight ($P = 0.03$; 329 vs. 338 kg), but ultrasound measures were not affected ($P \geq 0.15$). Following the same pattern than feed efficiency for ADG, we observed improvement on carcass gain efficiency for bulls fed 14% CP diets ($P < 0.01$). Previous research has suggested that low supply of dietary N limits ruminal fermentation as well as passage rate of the digesta, which results in decreased feed intake (Campling, 1970). In this sense, 11% CP diets likely supplied too little dietary nitrogen for optimal fermentation, which may have also resulted in reduced energy utilization and volatile fatty acid production. In addition, the low intake of RDP likely reduced microbial protein synthesis and amino acid supply to the small intestine. We had hypothesized that PRU inclusion in 11% CP diet would promoted similar performance than bulls fed 14% CP diets. This is because previous research from our research group reported a greater carcass-adjusted gain and feed efficiency (both live- and carcass-adjusted) as feed-grade urea was replaced by PRU. However, our hypothesis was partially corroborated, since only feed efficiency was improved when PRU was included in the diets.

As expected, bulls fed 14% diets presented greater plasma urea-N concentrations (PUN) than those fed 11% CP diets (17.4 vs. 10.8 mg/dL). When energy intake is held constant, increasing dietary protein increases PUN concentrations, as well as ruminal ammonia concentration (Hammond, 1975; Hennessy and Nolan, 1988; Souza et al., 2021). Johnson and Preston (1995) conducted a study to ascertain an optimal level of dietary CP for maximum performance while limiting N waste, based on blood urea N (BUN) concentrations. As the CP level of the diet increased from 10 to 16% CP, a linear increase in BUN was observed. Each 2-percentage unit increase in the CP concentration resulted in a 1 to 3 mg/dL increase in BUN. Based on their data, Johnson and Preston (1995) suggested that excessive N intake and N wastage would be indicated by levels of BUN greater than 5 to 8 mg/dL. According to these authors, we can suppose that the lower concentrations of PUN in bulls fed 11% CP levels suggest less wastage of N.

No treatment effects were detected for DM, OM and NDF intakes, except for CP intake, which was greater in bulls fed a diet containing 14% CP than those fed 11% CP ($P < 0.001$; 1.9 vs. 1.4 kg/d, respectively). According to Oliveira and Millen (2014), Brazilian feedlots commonly adopt CP levels between 12% to 15.8%, with average values of 13.7% CP. As observed by V eras et al.(2007), high-protein levels of finishing diets can increase DM digestion and intake, thereby leading to a greater ADG and improved feed efficiency. Thus, based on data that was obtained in this study, we suggest that intake was not affected by CP level, so reducing the level of dietary CP during the finishing phase will result in less costs associated with feedstuffs; however, it is important to consider that the present study used 6 animals per treatment and our power to detect differences was limited. The excess CP intake in the 14% CP-based diet in relation to the 11% CP diet was 330 g d⁻¹ and is equivalent to 733 g d⁻¹ of soybean meal or 131 g d⁻¹ of urea that could be saved.

Increasing dietary CP level tended to increase the DM and OM apparent digestibilities ($P = 0.10$). On average, diets with 14% CP promoted a 3% increase in DM and OM digestibility. Furthermore, regardless of CP level in the diet, total-tract apparent digestibilities of DM and OM were higher ($P < 0.03$) with the inclusion of PRU (71.6 vs. 69.0% and 73.1 vs. 70.4%, respectively). The CP digestibility was increased ($P < 0.001$) with diets containing 14% CP compared with diets containing 11% CP (70.7 vs. 62.9%). The greater protein digestibility for the 14% CP treatment was expected, as according to Reis et al. (2023), CP digestibility is directly associated with its intake. Despite having no effect of dietary CP level on NDF apparent digestibility ($P = 0.69$), the inclusion of post-ruminal urea (average of diets containing PRU) tended to increase NDF digestion ($P = 0.08$; 53.6 vs. 50.5 g/kg), which corroborates with Carvalho et al. (2019). In that study, effects of urea infusion in the post-rumen on intake, fiber digestion, ruminal parameters and N metabolism were evaluated. These authors identified that urea infusion in the abomasum increased by 9.4% the apparent digestibility of NDF in relation to urea in the rumen. According to Egan (1965), there is a return of nitrogen to the rumen after urea infusion in the post-rumen, causing an increase in ruminal ammonia concentrations and the rate of fiber digestion. The increase in NDF digestibility may also be explained in part by the numerical decrease in DMI. The DMI is directly associated with digesta passage rate, with higher intakes being associated with faster passage rates, reducing fiber digestion (Geay, 1984). In this study, dietary CP reduction did not affect total-tract fiber digestion. Ruminal N availability limits fiber intake and degradation (Egan and Doyle, 1985; Detmann et al., 2009), since fibrous carbohydrate fermenting bacteria use ammonia as a nitrogen source (Tadele and Amha, 2015). Therefore 11% CP diets probably was not deficient to provide ammonia-N supply for ruminal microorganisms.

As expected, N intake was different for protein level ($P < 0.001$), being greater for diets with 14% CP (290.6 vs. 222.5 g/d), as shown in Table 6. When DMI is kept the same, increasing of CP content improve DMI as it is a greater proportion of the diet. Ítavo et al. (2002) also observed greater N intake of a diet with 18% CP compared to a diet with 15% CP. Bulls fed diets with PRU inclusion exhibited lower fecal N loss ($P = 0.04$) than those fed FGU (79.2 vs. 87.2 g/d). The concentration of N in the diet, as well as the site of digestion, can influence the excretion and efficiency of N use (Oliveira et al., 2020). In this sense, greater urinary N losses were observed in diets with 14% CP ($P < 0.001$) when compared with diets with 11% CP (156.2 vs. 94.8 g/d). According to Broderick (2003), normally when dietary protein content is increased, urinary N excretion is increased. Cole et al. (2005) and Todd et al. (2006) found that finishing bulls receiving 13% CP experienced higher urinary N losses compared to those fed 11.5% CP (increasing from 24% to 50%). The type of diet influenced the route of N excretion, with fecal N and urinary N being dependent on diet composition. When high

protein and concentrate-based diets were utilized, over 75% of N excretion was observed in urine (Swensson, 2003; Cole et al., 2005; Hristov et al., 2011).

Beef cattle diets with 14% CP excreted 63.6 g of nitrogen (N) per day more than those fed 11% CP. This translates to greater N excretion of 6.61 kg per animal when fed diets with 14% instead of 11% CP, respectively, over 104-days of feedlot period (Silvestre and Millen, 2021). Considering there were about 2,500,000 cattle in Brazilian feedlots in the last years (ANUALPEC, 2015), with 14% as the most used CP content (Silvestre and Millen, 2021), excess of N excretion could amount about 16.5 thousand tons over the 104-day period. This period represents the average time spent in feedlots in Brazil (considering calf, bull, steer, heifer, and cull cow), with animals typically raised on pastures before entering the feedlot.

For the variable N absorbed, greater values ($P < 0.001$) were observed when bulls were fed 14% CP. The efficiency of N utilization (ENU) per unit of N ingested and absorbed was higher ($P < 0.001$) for bulls fed 11% CP-diets (20.3 vs. 17.1% and 32.2 vs. 24.2%). Several other studies provided evidence that reducing the dietary CP content would increase ENU (Menezes et al. Cole et al. (2006) carried out a study reducing the concentration of crude protein in the last 56 days of feeding (13.0 to 11.5%) and observed lower excretion of N. Evaluating the effects of CP levels on the N balance in Nelore cattle, Vêras et al. (2007) observed that N excretion increased linearly with the increase in CP in the diet. Additionally, ENU per gram of N ingested was higher ($P = 0.03$) with the inclusion of PRU (19.5 vs. 17.9%), reflecting an overall metabolic N utilization. Using similar considerations to those presented above regarding dietary CP levels, FGU inclusion in beef cattle diets resulted in 13.0 g more N per day compared to those fed PRU-based diets. Consequently, over the entire feedlot period used in Brazilian feedlots, replacing FGU with PRU could lead to a N excretion reduction of 1.35 kg per animal.

Conclusions

The reduction in the CP content of diets negatively affect DM intake, animal performance, and carcass weight. Contrary to our hypothesis, when finishing Nelore bulls are fed with 11% CP compared to 14% CP level diet, independent of the urea source, reduces growth performance. However, post-ruminal urea release inclusion in finishing diets for beef cattle increases feed efficiency for carcass gain and improve efficiency of nitrogen utilization.

Replacing FGU with PRU could be a means to reduce environmental contamination without compromising animal performance but improve feed efficiency.

TABLES

Table 1. Ingredients and nutritional composition of diets.

Item	11% Crude Protein		14% Crude Protein	
	Feed grade urea	Post-ruminal urea release	Feed grade urea	Post-ruminal urea release
Ingredientes, % of dry matter (DM)				
Sorghum silage	24.0	24.0	24.0	24.0
Corn ground	34.0	34.0	33.0	33.0
Corn rehydrated and ensiled	34.0	34.0	33.0	33.0
Soyhulls	3.4	3.4	---	---
Soybean meal	---	---	5.4	5.4
Vitamin-mineral mix ¹	3.0	3.0	3.0	3.0
Feed-grade urea	1.0	---	1.3	---
Post-ruminal urea release ²	---	1.2	---	1.6
Sulfur supplement	---	---	0.04	0.04
Kaolin	0.6	0.4	0.26	---
Chemical composition, % of DM				
DM, % as-fed	52.9	52.9	53.1	53.1
Crude protein (CP)	11.6	11.7	14.7	14.6
% from urea source	24.1	24.2	25.4	25.2
Rumen-degradable protein ³	7.0	7.1	9.4	9.3
% of CP	63.0	63.0	66.5	66.4
% from urea source	38.3	38.4	38.2	37.9
Non-protein nitrogen	0.5	0.5	0.6	0.6
N:S ratio	8:1	8:1	8:1	8:1
Starch	51	51	50	50
Neutral detergent fiber (NDF)	25.5	25.5	23.8	23.8

¹ BellPeso Super (Bellman, Trouw Nutrition), containing 960 mg/kg of monensin, 210/240 g/kg of Calcium (Min./Max.), 20 g/kg of Phosphorus (Min.), 80 g/kg of Sodium (Min.), 37 g/kg of Sulfur (Min.), 1,830 mg/kg Zinc (Min.), 485 mg/kg Copper (Min.), 333 mg/kg Fluorine (Min.), 1,424 mg/kg Manganese, 29 mg/kg of Cobalt (Min.), 35 mg/kg of Iodine, 9 mg/kg of Selenium, 91,363 IU/kg of Vitamin A (Min.), 12,954 IU/kg of Vitamin D3 (Min.) and 1,295 IU/kg of Vitamin E (Min.).

² Post-ruminal urea release (Trouw Nutrition, 82% urea, 226 g crude protein/kg) with 28% of ruminal release, but considering that 72% may be completely absorbed in the small intestine.

³ Estimated according to the BR-Corte nutrition model (Valadares Filho et al., 2016).

Table 2. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on growth performance and carcass characteristics of Nellore bulls.

Item	11% CP		14% CP		SEM	<i>P</i> -values		
	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea		CP	US	CP × US
Growth performance								
Initial body weight (BW), ¹ kg	449	448	448	448	15.6	0.89	0.96	0.92
Final BW, ¹ kg	588	599	607	608	6.6	0.04	0.39	0.41
ADG, ² kg	1.85	2.01	2.13	2.16	0.097	0.04	0.34	0.50
DMI, ³ kg/day	11.1	11.0	11.7	11.3	0.23	0.08	0.17	0.46
DMI, % BW	2.14	2.10	2.21	2.20	0.049	0.10	0.58	0.82
Feed efficiency, g/kg	170.7	186.4	184.6	194.7	5.99	0.10	0.01	0.39

¹ Initial and final individual BW measured live and after 16 h of feed restriction.

² Average daily gain.

³ Recorded from each pen (7 pens/treatment) and divided by the number of animals within each pen and expressed as kg animal/day.

Table 3. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on carcass characteristics of Nellore bulls.

Item	11% CP		14% CP		SEM	<i>P</i> -values		
	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea		CP	US	CP × US
Initial CW, kg	238	237	237	237	9.3	0.89	0.96	0.92
Hot carcass weight, kg	328	330	338	339	4.1	0.03	0.77	0.96
Dressing, %	55.6	55.2	55.6	55.9	0.35	0.29	0.56	0.71
Average daily gain, kg/d	1.20	1.21	1.32	1.35	0.064	0.08	0.77	0.96
Carcass gain:feed, g/kg	0.106	0.112	0.114	0.122	0.0034	0.01	0.06	0.77
Ultrasound measures								
Longissimus (LM) area, cm ²	92.9	93.0	88.6	92.3	3.01	0.40	0.51	0.55
LM fat tickness, mm	2.65	2.12	2.70	2.79	0.375	0.20	0.62	0.49
Rump muscle length, cm	10.0	10.0	10.3	10.1	0.22	0.36	0.49	0.60
Rump muscle fat tickness, mm	5.83	4.59	5.71	5.56	0.487	0.38	0.15	0.26

Table 4. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on blood hormones and metabolites of Nellore bulls.

Item	11% CP		14% CP		SEM	<i>P</i> -values		
	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea		CP	US	CP × US
IGF-I,	306.10	312.90	307.90	308.90	14.18	0.94	0.78	0.84
Energy metabolism								
Glucose, mg/dL	72.20	73.95	75.85	75.35	3.82	0.67	0.96	0.57
Muscle body mass								
Creatinine, mg/dL	3.23	3.19	3.13	2.99	0.19	0.11	0.93	0.40
Urea, mg/dL	10.68	10.83	16.35	18.56	1.387	<0.001	0.40	0.46
Liver function								
ALP, U/L	225.93	253.65	264.10	212.81	19.70	0.62	0.77	0.13
AST, U/L	63.50	68.75	71.62	63.90	3.72	0.51	0.99	0.08
GGT, U/L	29.39	28.98	26.43	26.33	1.81	0.09	0.47	0.74
Total protein, mg/dL	5.75	5.82	5.55	4.42	0.23	0.15	0.89	0.67
Albumin, mg/dL	4.70	4.81	4.66	4.45	0.24	0.81	0.94	0.17
Globulin, mg/dL	1.06	1.01	0.89	0.97	0.14	0.16	0.84	0.33

ALP = alkaline phosphatase; AST = aspartate aminotransferase; GGT = gamma glutamyl transferase;

Table 5. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on intake and apparent total-tract digestibility in Nellore bulls.

Item	11% CP		14% CP		SEM	<i>P</i> -values		
	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea		CP	US	CP × US
Intake, kg/d								
Dry Matter (DM)	12.0	11.8	12.8	12.1	0.72	0.21	0.25	0.53
Organic Matter (OM)	11.4	11.2	12.1	11.6	0.68	0.13	0.40	0.70
Crude protein (CP)	1.4	1.4	1.9	1.8	0.10	<0.001	0.20	0.36
Neutral detergent fiber (NDF)	3.1	3.0	3.1	2.9	0.18	0.39	0.23	0.60
Total-tract Apparent digestibility (%)								
DM	67.4	71.2	70.6	71.9	1.12	0.10	0.03	0.30
OM	69.0	72.6	71.8	73.5	1.09	0.10	0.02	0.41
CP	61.8	64.0	69.7	71.7	1.55	<0.001	0.12	0.92
NDF	50.0	54.8	50.9	52.4	1.73	0.69	0.08	0.35

Table 6. Effects of dietary crude protein concentration (CP) and urea source (US), and their interactions on characterization of nitrogen utilization in Nellore bulls.

Item	11% CP		14% CP		SEM	<i>P</i> -values		
	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea	Feed-grade urea	Post-ruminal release urea		CP	US	CP × US
Intake, g/d								
Total N intake	224.0	220.9	299.8	281.4	15.60	<0.001	0.20	0.36
N excretion								
Fecal N, g/d	85.0	79.1	89.4	79.2	3.60	0.54	0.04	0.56
Urinary N, g/d	95.3	94.3	160.7	151.6	8.26	<0.001	0.47	0.55
N absorbed, g/d	138.8	141.6	210.3	202.0	14.28	<0.001	0.72	0.48
N retention, g/d	43.4	47.1	49.4	50.3	7.16	0.04	0.28	0.50
Efficiency of nitrogen utilization								
% of N intake	19.3	21.2	16.5	17.7	1.78	<0.001	0.03	0.66
% of N apparently absorbed	31.2	33.2	23.6	24.7	2.39	<0.001	0.22	0.71

REFERENCES

- AMARAL, P.M.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; SANTOS, S.A.; PRADOS, L.F.; MARIZ, L.D. S.; ALVEZ, L.C.; MENEZES, A.C.B.; VILLADIEGO, F.A.C.; NOVAES, M.A.S.; SILVA, F.A.S. 2014. Effect of phase-feeding crude protein on performance and carcass characteristics of crossbred beef bulls: an application to reduce nitrogen compounds in beef cattle diets. **Tropical Animal Health and Production**. 46, 419–425.
- ANUALPEC 2015. FNP. Consultoria e Comércio. Anuário da Pecuária Brasileira – Anualpec 2015. São Paulo, Ed. **Argos Comunicação**. 360p. 2015.
- BATISTA, E. et al. 2016. Effects of varying ruminally undegradable protein supplementation on forage digestion, nitrogen metabolism, and urea kinetics in Nellore cattle fed low quality tropical forage. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 1, p. 201-216.
- BRODERICK, G.A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 1370–1381.
- CARVALHO, I.P.C.; DOELMAN, J.; MARTÍN-TERESO, J. 2019. Post-ruminal non-protein nitrogen supplementation as a strategy to improve fibre digestion and N efficiency in the ruminant. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, p. 64–75.
- CAVALCANTE, M. A. B.; PEREIRA, O. G.; VALADARES FILHO, S. de C.; RIBEIRO, K. G.; PACHECO, L. B. B.; ARAÚJO, D.; & LEMOS, V. M. C. 2006. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: parâmetros ruminais, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n.1, p.203–210.
- COLE, N.A.; CLARK, R.N.; TODD, R.W.; RICHARDSON, C.R.; GUEYE, A.; GREENE, L.W.; MCBRIDE, K. 2005. Influence of dietary crude protein concentration and source on potential ammonia emissions from beef cattle manure. **Journal of Animal Science**. v. 83, p. 722–731.
- COLE, N.A.; DEFOOR, P.J.; GALYEAN, M.L.; DUFF, G.C.; GLEGHORN, J.F. 2006. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. **Journal of Animal Science** 84, 3421–3432.
- DETMANN, E. et al. 2009. Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. **Livestock Science**, v. 126, n. 1-3, p.136–146.

- DETMANN, E. et al. 2014. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153.
- EGAN, A. R. 1965. The fate and effects of duodenally infused casein and urea nitrogen in sheep fed on a low-protein roughage. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 2, p. 169-177.
- EGAN, A.; MOIR, R. 1965. Nutritional status and intake regulation in sheep. I. Effects of duodenally infused single doses of casein, urea, and propionate upon voluntary intake of a low-protein roughage by sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 3, p. 437-449.
- EGAN, J.K. & DOYLE, P.T. 1985. Effect of intraruminal infusion urea on the response in voluntary food intake by sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, p.483-495.
- GALYEAN, M.L. 1996. Protein Levels in Beef Cattle Finishing Diets: Industry Application, University Research, and Systems Results. **Journal of Animal Science**, 74, 2860-2870.
- GEAY, Y. 1984. Energy and protein utilization in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 58, n. 3, p. 766-778.
- HENNESSY, D.W.; NOLAN, J.V. 1988. 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.
- HRISTOV, A.N.; HANIGAN, M.; COLE, A.; TODD, R.; MCALLISTER, T.A.; NDEGWA, P.M.; ROTZ, A. 2011. Review: ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. **Can. Journal of Animal Science**, v. 91, p. 1-35.
- ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. 2002. Níveis de concentrado e proteína bruta na dieta de bovinos Nelore nas fases de recria e terminação: consumo e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 1033-1041.
- LEE, G. et al. 1987. Responses to nitrogen and maize supplements by young cattle offered a lowquality pasture hay. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 38, n. 1, p. 195-207.
- LENG, R. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. **Nutrition research reviews**, v. 3, n. 1, p. 277-303, 1990.
- MENEZES, A. C. B.; VALADARES FILHO, S. C.; COSTA e SILVA, L. F.; PACHECO, M. V. C.; PEREIRA, J. M. V.; ROTTA, P. P; RENNÓ, L. N. 2016. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nelore bulls? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 223, 239-249.

- MERTENS, D. R. 1994. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) Forage quality, evaluation and utilization. Madison: **American Society of Agronomy**, p. 450-493.
- NICHOLS, K. et al. 2022. Review: Unlocking the limitations of urea supply in ruminant diets by considering the natural mechanism of endogenous urea secretion. **Animal**, v. 16 Suppl 3, p. 10053.
- OLIVEIRA, C. A. and MILLEN, D. D. 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 64-75.
- OLIVEIRA, C.V.; SILVA, T.E.; BATISTA, E.D.; RENNÓ, L.N.; SILVA, F.F.; CARVALHO, I.P.C.; DETMANN, E. 2020. Urea supplementation in rumen and post-rumen for cattle fed a low-quality tropical forage. **British Journal of Nutrition**, v. 124, n. 11, p. 1166-1178.
- REIS, I.A.; SOUZA, M.G.D.; GRANJA-SALCEDO, Y.T.; CARVALHO, I.P.C.d.; Porcionato, M.A.D.F.; Prados, L.F.; Siqueira, G.R.; De Resende, F.D. 2023. Effect of Post-Ruminal Urea Supply on Growth Performance of Grazing Nellore Young Bulls at Dry Season. **Animals**, v. 13, p. 207.
- SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. 2021. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50.
- SOUZA, M. G. D. et al. 2022. Effects of Post-Ruminal Urea Supplementation during the Seasonal Period on Performance and Rumen Microbiome of Rearing Grazing Nellore Cattle. **Animals**, v. 12, n. 24, p. 3463.
- SWENSSON, C. 2003. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. **Livestock Production Science**, 84, 125–133.
- TADELE, Y.; AMHA, N. 2015. Use of different non protein nitrogen sources in ruminant nutrition: A review. **Advance in Life Science and Technology**, v. 29, p. 100–105.
- TODD, R.W.; COLE, N.A.; CLARK, R.N. 2006. Reducing crude protein in beef cattle diet reduces ammonia emissions from artificial feed yard surfaces. **Journal of Environmental Quality**. 35, 404–411.
- VÉRAS, R. M. L.; VALADARES FILHO, S. de C.; VALADARES, R. F. D.; RENNÓ, L. N.; PAULINO, P. V. R.; & SOUZA, M. A. 2007. Balanço de compostos nitrogenados e estimativa das exigências de proteína de manutenção de bovinos Nelore de três condições sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.1212–1217.