

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BEZERROS DE
CORTE NO PRÉ-DESMAME**

Anderson Luiz de Lucca Bento

**CAMPO GRANDE, MS
2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**MICROMINERÁIS INJETÁVEIS PARA BEZERROS DE
CORTE NO PRÉ-DESMAME**

Injectable trace minerals for beef calves in the pre weaning phase

Anderson Luiz de Lucca Bento

Orientador: Prof. Dr. Gumerindo Loriani Franco

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

**CAMPO GRANDE, MS
2021**

Dedico a minha amada família, minha
maior referência!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pela oportunidade de realizar este curso;

Ao professor Dr. Gumerindo Lorian Franco pelo exemplo de conduta profissional, pela orientação inestimável, por todos conhecimentos transmitidos ao longo destes dez anos de convivência agradável, pela dedicação e amizade, minha profunda gratidão;

Aos professores Dr. Fabio José Carvalho Faria e Dr. Ricardo Antonio Amaral de Lemos, e aos colegas Dr. Marcelo Vedovatto e Dra. Marcella Cândia D'Oliveira, pelas inúmeras e valiosas contribuições, pela disponibilidade e prontidão em ajudar, sendo de fundamental importância para a qualidade desse trabalho;

A todos os professores da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, pela dedicação e por todos os ensinamentos;

Aos Funcionários da Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela convivência, amizade e auxílio nos trabalhos de campo;

Aos secretários da Pós-graduação Fernando Diogo Patez e Ricardo Oliveira Santos, pela grande amizade e prontidão em ajudar;

Aos meus colegas de pós-graduação Eduardo de Assis Lima, Ibrahim Miranda Cortada Neto, Luana Silva Caramalac, Rafaela Nunes Coelho e Uriel de Almeida Curcio, pela ajuda na condução do experimento, pelas discussões que contribuíram para o enriquecimento da minha formação e pela amizade, meus sinceros agradecimentos;

Aos estagiários pela amizade, auxílio prestado, proatividade e comprometimento, fundamentais para a execução das diferentes etapas desse experimento;

À minha família pelos ensinamentos, por priorizarem minha educação e compreensão pelos dias ausentes;

Aos meus pais Lizabete Coutinho de Lucca e Antônio Siverino Bento pelo incentivo em ingressar na Graduação em Zootecnia e na Pós-Graduação em Ciência Animal, pelo apoio incondicional ao longo desse processo e por todo amor;

À minha esposa Raizza Fátima Abadia Tulux Rocha, por estar sempre ao meu lado, pelo apoio total e auxílio nas diversas atividades desde a graduação até o doutorado, pela paciência nos momentos difíceis e por me proporcionar muitas alegrias nesses 12 anos que estamos juntos;

Aos meus irmãos Andressa de Lucca Bento e Andrey de Lucca Bento, a minha madrastra Rosemary Assunção, aos meus sogros Lélia Tulux e Claudio Antônio Rocha, às minhas cunhadas Claire Martha Ellen Tulux Rocha, Íris Bárbara Laudicena Tulux Rocha e Suelen Katarine Tulux Rocha, e cunhado Gildo Andrade, aos meus concunhados Daniel Alves Conque e William Cavalcante Godoy, e especialmente aos meus sobrinhos Davi Rocha Godoy, Helena Tulux Rocha Alves Conque, Ivan Rocha Godoy, Julia Tulux Rocha Alves Conque e Laís Rocha Godoy, pela amizade, pelos momentos de descontração e pela ajuda em todos os momentos;

Aos amigos de longa data Alberto de Oliveira Gaspar, Aldo Felipe Fava, Bruno Ruiz Vida, Caroline Bertoline Ribeiro, Erico Carneiro, Henrique Barbosa de Freitas, Jonathan Coimbra Carvalho, Luanna Lopes Paiva, Mayara Mitiko Yoshihara Carneiro, Stephan Alexander da Silva Alencar e Waldinei Caballero pelo companheirismo e amizade sincera;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Profissional de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) por financiar os experimentos;

À Empresa Multimin (Fort Collins, CO, USA) pela doação do produto e por nos incentivar a conduzir os experimentos com reprodução;

À todos não mencionados diretamente nessa seção e que fizeram parte dessa etapa da minha caminhada, muito obrigado!

RESUMO

BENTO, A. L. L. Microminerais injetáveis para bezerros de corte no pré-desmame. 2021. 100f. Tese - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da aplicação de uma mistura de microminerais (Cu, Mn, Se e Zn), 14 dias antecedendo ao desmame, sobre os parâmetros hematológicos, sistema imunológico, atividade antioxidante, status de microminerais e desempenho de bezerros de corte no período pós-desmame. No primeiro capítulo foi realizada uma revisão de literatura ressaltando o papel dos microminerais no organismo animal, os resultados obtidos e potencial de uso de misturas de microminerais injetáveis (MMI) em diferentes momentos do ciclo de produção de bovinos. Nos demais capítulos, foram avaliados os efeitos da aplicação de MMI em dose única sobre as variáveis hematológicas e sistema imunológico (Capítulo 2) e sobre o desempenho, status de microminerais e carga parasitária de (Capítulo 3) de bezerros suplementados com MMI 14 dias pré-desmame e mantidos em pastagens de clima tropical. No capítulo 2 foram utilizados 64 bezerros subdivididos em dois lotes em função da época de nascimento, sendo 32 machos e 32 fêmeas (média de idade ao desmame de 208 dias). As fêmeas apresentaram peso corporal (PC) médio inicial de 163 ± 19 kg e os machos 181 ± 23 kg. O estudo teve duração de 70 dias por lote, compreendendo o período de 14 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). Os animais foram divididos pelo PC e sexo em dois tratamentos: SALINA, injeção de solução salina contendo 0,9% de NaCl (1 mL/45 kg de PC) e MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC) contendo Cu, Mn, Se e Zn na composição. Os MMI apresentavam 15 mg de Cu/mL, 10 mg de Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 60 mg de Zn/mL. Os animais foram manejados sempre em lote único e alternados em diferentes piquetes de *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com acesso a água e suplementação mineral. De forma semelhante, no capítulo 3 foram utilizados os mesmos animais do capítulo 2 e outros 56 bezerros (com média de idade de 8 meses), sendo 24 machos (PC médio inicial de 202 ± 34 kg) e 32 fêmeas (206 ± 38 kg), submetidos ao mesmo protocolo experimental. No capítulo 2 observou-se uma tendência ($P = 0,0836$) de maior concentração de hemácias no momento do desmame em animais que receberam MMI. Foi observada redução do volume corpuscular médio (VCM; $P = 0,0208$) nos animais tratados com MMI comparativamente ao SALINA. Houve uma tendência ($P = 0,0884$) de redução da hemoglobina corpuscular média (HCM) quando os animais foram tratados com MMI. Não houve efeito de tratamento ou interação tratamento x dia para as variáveis avaliadas no leucograma ($P > 0,05$), havendo efeito de dia ($P < 0,05$) para estas variáveis. No capítulo 3 a aplicação de MMI não influenciou o PC e o GMD dos animais ($P > 0,05$), não havendo interação tratamento x dia ($P > 0,05$) na avaliação do PC em ambos os experimentos. Foi observado efeito de dia para o PC dos animais ao longo da avaliação ($P \leq 0,05$). A aplicação de MMI também não influenciou ($P > 0,05$) a contagem de ovos nas fezes (OPG) entre o início e o final do experimento 2. A aplicação de MMI 14 dias antecedendo ao desmame reduziu o VCM e o HCM, aumentou a concentração de plaquetas pré-desmame e de hemácias no dia do desmame, com menor concentração de plaquetas 14 dias após o desmame, não apresentando efeitos sobre os componentes do sistema imunológico, bem como não influenciou o GMD e a carga parasitária dos animais. Apesar do maior aporte de microminerais proporcionado pelo MMI, as limitações de macronutrientes (principalmente proteína bruta) reduziram o desempenho e limitaram os possíveis efeitos do MMI sobre o desempenho produtivo.

Palavras-Chave: Bovinos. Desempenho. Estresse oxidativo. Status de microminerais.

ABSTRACT

BENTO, A. L. L. Injectable trace minerals for beef calves in the pre weaning phase. 2021. 100f. Tese - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021.

The objectives with this work were to evaluate the effects of applying a mixture of trace minerals (Cu, Mn, Se and Zn) 14 prior to weaning on hematological parameters, immune function, antioxidant activity, trace element status and performance of beef calves in the post-weaning period. In the first chapter, literature review was carried out highlighting the role of trace minerals in the animal organism, the obtained results and the potential for using injectable trace mineral mixtures (ITM) at different moments of cattle production cycle. In the remaining chapters, the application effects of a single ITM dose on hematological variables and immune system (chapter 2) and on performance, trace mineral status and parasitic load (chapter 3) of calves maintained in tropical pastures, supplemented with ITM 14 pre-weaning were evaluated. In chapter 2, 64 calves divided in two groups according to birth time were used, being 32 males and 32 females (mean age 208 days at weaning). Females had mena initial BW of 163 ± 19 kg and males 181 ± 23 kg. Study lasted 70 days per group, comprising a period from 14 days prior to weaning (d-14) to 56 days after weaning (d56). Animals were divided based on BW and sex into two treatments: SALINE, saline injection (1 mL/45 kg BW) and ITM, injectable trace minerals (1 mL/45 kg BW) containing Cu, Mn, Se and Zn on its composition. ITM had 15 mg of Cu/mL, 10 mg of Mn/mL, 5 mg of Se/mL and 60 mg of Zn/mL. Animals were Always maintained in a unic group and alternated in diferente paddocks of *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, with access to water and mineral mixture. Similary, in chapter 3 the same calves of chapter 2 and other 56 calves (average age 8 months) were used, being 24 males(initial BW 202 ± 34 kg) and 32 females (initial BW 206 ± 38 kg), submitted to the same experimental protocol. In chapter 2, there was a trend ($P = 0.0836$) of greater red blood cell concentration at the time of weaning in animals that received ITM. A reduction in mean corpuscular volume (MCV; $P = 0.0208$) was observed in animals treated with ITM compared to SALINE. There was a tendency ($P = 0.0884$) to reduce mean corpuscular hemoglobin (MCH) when animals were treated with ITM. There was no treatment effect or treatment x day interaction for the leukogran evaluated variables ($P > 0.05$), with a day effect ($P < 0.05$) for these variables. In chapter 3, the application of ITM did not influence BW and ADG of calves ($P > 0.05$), with no treatment x day interaction ($P > 0.05$) in the evaluation of the BW in both experiments. Day effect for BW was observed throughout the evaluation ($P \leq 0.05$). The application of ITM also did not influence ($P > 0.05$) the egg count in the feces (eggs/g) between the beginning and the end of the experiment 2. ITM application 14 days before weaning reduced MCV and MCH, increased the concentration of pre-weaning platelets and red blood cells on the day of weaning, with a lower concentration of platelets 14 days after weaning, having no effects on components of immune system, as well as did not influence ADG and the parasitic load of the animals. Despite the greater supply of trace minerals provided by ITM, the macronutrient limitations (mainly CP) reduced performance and limited possible effects of ITM on productive performance.

Key words: Cattle. Oxidative stress. Performance. Trace mineral status.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS: UMA REVISÃO

Tabela 1. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) sobre a saúde e o desempenho reprodutivo de vacas.....49

Tabela 2. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) sobre a saúde e o desempenho de bovinos jovens.....50

CAPÍTULO 2 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS DE CORTE NO PERÍODO PRÉ-DESMAME SOBRE AS VARIÁVEIS HEMATOLÓGICAS

Tabela 1. Composição química das pastagens durante período experimental.....70

Tabela 2. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o eritrograma de bezerros de corte mantidos em pastagens tropicais.....71

Tabela 3. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o leucograma de bezerros mantidos em pastagens tropicais.....73

CAPÍTULO 3 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS NO PERÍODO PRÉ-DESMAME SOBRE O DESEMPENHO E RESISTÊNCIA PARASITÁRIA DE BEZERROS NELORE EM PASTAGENS TROPICAIS

Tabela 1. Composição química das pastagens durante período experimental.....94

Tabela 2. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o desempenho de bezerros de corte (Experimento 1).....95

Tabela 3. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o desempenho de bezerros de corte (Experimento 2).....96

Tabela 4. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre a contagem de OPG de bezerros de corte (Experimento 2).....97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALB	Albumina	LSMEANS	Least-Squares Means
AST	Aspartato aminotransferase	Mg	Magnésio
AOAC	Association of Official Analytical Chemists	MM	Materia Mineral
BVDV	Diarreia Viral Bovina	Mn	Manganês
Ca	Cálcio	Mo	Molibdênio
CCS	Contagem de Células Somáticas	MS	Matéria Seca
Cd	Cádmio	NASEM	National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine
CHCM	Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média	NRC	National Research Council
CNF	Carboidratos Não Fibrosos	Ni	Níquel
CMS	Consuno de Matéria Seca	OPG	Ovos por Grama de Fezes
Co	Cobalto	P	Fósforo
Cr	Cromo	PB	Proteína Bruta
Cu	Cobre	PC	Peso Corporal
EE	Extrato Etéreo	PT	Proteína Total
EPM	Erro Padrão da Média	RDW-CV	Amplitude de distribuição das hemácias expresso com coeficiente de variação
FDA	Fibra em Detergente Ácido	ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
FDN	Fibra em Detergente Neutro	S	Enxofre
Fe	Ferro	SAS	Statistical Analysis System
GGT	Glutamyltransferase	Se	Selênio
GMD	Ganho Médio Diário	SOD	Superóxido Dismutase
GSH-Px	Glutathione Peroxidase	SALINA	Solução Salina
HCM	Hemoglobina Corpuscular Média	TGI	Trato Gastro Intestinal
I	Iodo	VCM	Volume Corpuscular Médio
IA	Inseminação Artificial	Zn	Zinco
IATF	Inseminação Artificial em Tempo Fixo		

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
Literatura citada	13
CAPÍTULO 1 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS:UMA REVISÃO...	15
Resumo	17
Abstract.....	18
Introdução	19
Disponibilidade e importância dos micromineraisno no organismo animal.....	20
Potenciais benefícios do fornecimento de microminerais acima dos requerimentos nutricionais.....	31
Efeito da aplicação de microminerais injetáveis em vacas	35
Efeito no desempenho reprodutivo de vacas	36
Efeito da aplicação de microminerais injetáveis em bezerros	37
Efeito no ganho de peso e consumo de animais recém confinados	39
Conclusões	40
Referências.....	40
CAPÍTULO 2 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS DE CORTE NO PERÍODO PRÉ-DESMAME SOBRE AS VARIÁVEIS HEMATOLÓGICAS	51
Resumo	53
Introdução	55
2. Material e Métodos	56
2.1 Animais, tratamentos e colheita de amostras	56
2.2 Análises laboratoriais	58
2.3 Análises estatísticas.....	58
3.0 Resultados.....	59
4.0 Discussão	60
5.0 Conclusão.....	65
Conflito de interesse	65
Agradecimentos	65
Referências.....	65
CAPÍTULO 3 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS NO PERÍODO PRÉ-DESMAME SOBRE O DESEMPENHO DE BEZERROS NELORE EM PASTAGENS TROPICAIS	74
Resumo	76

1. Introdução	78
2. Material e Métodos	79
2.1 Animais, tratamentos e coletas de amostras.....	80
2.2 Análises laboratoriais.....	82
2.3 Análises estatísticas.....	83
3.0 Resultados.....	83
4.0 Discussão	84
5.0 Conclusão.....	88
Conflito de interesse	88
Agradecimentos	88
Referências.....	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE.....	98

1 INTRODUÇÃO

2
3
4 Os microminerais são elementos requeridos em pequenas concentrações e estão presentes
5 em quantidades mínimas no corpo dos animais, todavia, são imprescindíveis para o
6 funcionamento normal de todos os processos metabólicos (Suttle, 2010).

7 A concentração destes microminerais no corpo deve ser mantida dentro de faixas
8 adequadas, de modo a evitar deficiências, toxicidades ou desequilíbrios, que podem induzir a
9 ocorrência de distúrbios e a necessidade de ajustes metabólicos, resultando na redução do
10 desempenho animal e consequentemente, em perdas econômicas (Suttle, 2010; Spears e Weiss,
11 2014).

12 Cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), iodo (I), manganês (Mn), molibdênio
13 (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn), são os microminerais requeridos por ruminantes
14 (NASEM, 2016). Embora sejam necessários em pequenas quantidades, estes elementos são
15 altamente essenciais para a manutenção da saúde e imunidade dos animais, sendo importantes
16 para a função de diversas enzimas e proteínas, que atuam em um grande número de processos
17 digestivos, fisiológicos e biossintéticos no corpo, tendo assim papel vital no crescimento,
18 produção e reprodução (Yatoo et al., 2013).

19 Esses elementos devem ser fornecidos aos animais em concentrações ótimas, de acordo
20 com as exigências, que podem variar em função da taxa de crescimento do animal ou da etapa
21 do ciclo de produção em que se encontra, sendo sua demanda comumente elevada em períodos
22 de maior estresse, como próximo ao parto e início da lactação, desmame e entrada no
23 confinamento (López-Alonso, 2012).

24 Nos sistemas de produção de bovinos em pastejo, predominantes na maioria das regiões
25 pecuárias do mundo, a produtividade animal é dependente da qualidade destes pastos, que
26 apresentam flutuações em sua composição e valor nutricional decorrentes de características do
27 solo e clima. Desse modo, ruminantes em pastejo estão frequentemente sujeitos a ocorrência de
28 deficiências e desequilíbrios nutricionais, que são em geral, corrigidas com programas de
29 suplementação.

30 Contudo, o atendimento dessas exigências de bovinos em pastejo é uma tarefa complicada
31 devido a diversos fatores como a presença de elementos antagonistas na forragem e água de
32 bebida, e dificuldades na garantia de um consumo regular e previsível de suplemento mineral.

Apenas a inclusão dos microminerais na dieta pode não assegurar seu consumo e absorção, podendo haver variações no consumo de alimento entre os animais e consequentemente na ingestão de microminerais, e interações destes com elementos antagonistas que podem apresentar efeito negativo sobre sua absorção no trato digestivo (Machado et al., 2013).

Deficiências subclínicas de microminerais podem ocorrer de forma frequente, gerando perdas difíceis de quantificar, devido a não levarem a ocorrência de sintomas específicos, ocasionando reduzidas taxas de crescimento e reprodutivas e menor eficiência do sistema imune (Suttle, 2010).

Efeitos positivos da administração de microminerais injetáveis e melhoria do status de microminerais sobre a saúde e produção animal, evidenciando reduções de morbidade, diminuições de custos com tratamentos e melhoria no desempenho produtivo foram demonstrados (Bittar et al., 2020; Machado et al., 2013; Teixeira et al., 2014; Yatoo et al., 2013).

Dessa forma, alternativas que possam complementar a suplementação mineral convencional (mistura mineral em pó) durante períodos críticos do sistema de produção podem ser utilizadas para fornecer microminerais chave, visando efeitos positivos sobre a saúde e produtividade do rebanho.

A administração de microminerais via injeções subcutâneas é um método de suplementação que apresenta como vantagens o fornecimento individual de quantidades conhecidas de microminerais aos animais, removendo a variabilidade associada a flutuações no consumo voluntário e interações com outros minerais no trato gastrointestinal e a possibilidade de utilização em ambientes onde o fornecimento de misturas minerais pode ser dificultado (Arthington et al., 2014). Estudos com a utilização dessa técnica têm reportado efeitos positivos sobre a saúde, resposta imune, eficiência alimentar e desempenho de bovinos (Clark et al., 2006; Richeson e Kegley, 2011; Arthington e Havenga, 2012).

Desse modo, objetivou-se com esse trabalho: Capítulo 1 – realizar uma revisão de literatura ressaltando o papel dos microminerais no organismo animal, os resultados obtidos e potencial de uso de misturas de microminerais injetáveis (MMI) em diferentes momentos do ciclo de produção de bovinos; Capítulo 2 - Avaliar os efeitos da aplicação de MMI em dose única sobre as variáveis hematológicas e sistema imunológico de bezerros suplementados com MMI 14 dias pré-desmame e mantidos em pastagens de clima tropical; e Capítulo 3 - Avaliar os efeitos da aplicação de MMI em dose única sobre o desempenho, status de microminerais e

- 66 carga parasitária de bezerros suplementados com MMI 14 dias pré-desmame e mantidos em
67 pastagens de clima tropical.

LITERATURA CITADA

ARTHINGTON, J. D.; HAVENGA, L. J. Effect of injectable trace minerals on the humoral immune response to multivalent vaccine administration in beef calves. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 1966–1971, 2012.

ARTHINGTON, J.D.; MORIEL, P.; MARTINS, P.G.M.A.; LAMB, G.C.; HAVENGA, L.J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. **Journal of Animal Science**, v.92, p.2630–2640, 2014.

BITTAR, J. H. J.; PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; HOYOS-JARAMILLO, A.; RODRIGUEZ, A.; STOSKUTE, A.; HAMRICK, B.; NORTON, N.; ADKINS, M.; SALIKI, J. T.; SANCHEZ, S.; LAUBER, K. Immune response and onset of protection from Bovine viral diarrhea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination concurrent with injectable trace minerals administration in newly received beef calves. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 225, 2020.

CLARK, J. H.; OLSON, K. C.; SCHMIDT, T. B.; LARSON, R. L.; ELLERSIECK, M. R.; ALKIRE, D. O.; MEYER, D. L.; RENTFROW, G. K.; CARR, C. C. Effects of respiratory disease risk and a bolus injection of trace minerals at receiving on growing and finishing performance by beef steers. **The Professional Animal Scientist**, v. 22, p. 1–7, 2006.

LÓPEZ-ALONSO, M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. **ISRN Veterinary Science**, 2012.

MACHADO, V. S.; BICALHO, M. L. S.; PEREIRA, R. V.; CAIXETA, L. S.; KNAUER, W. A.; OIKONOMOU, G.; GILBERT, R. O.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and, production of lactating Holstein cows. **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 451-456, 2013.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th revised edition. Washington, DC: National Academy Press, 2016.

102 RICHESON, J. T.; KEGLEY, E. B. Effect of Supplemental trace minerals from injection on
103 health and performance of highly stressed, newly received beef heifers. **The Professional**
104 **Animal Scientist**, v. 27, p. 461–466, 2011.

105
106 SPEARS, J. W.; WEISS, W. P. Invited review: mineral and vitamin nutrition in ruminants. **The**
107 **Professional Animal Scientist**, v. 30, p. 180-191, 2014.

108
109 SUTTLE, N. F. **The mineral nutrition of livestock**. 4rd edition. CABI, 2010. 579 p.

110
111 TEIXEIRA, A.G.V.; LIMA, F.S.; BICALHO, M.L.S.; KUSSLER, A.; LIMA, S.F.; FELIPPE,
112 M.J.; BICALHO, R.C. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium,
113 copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of dairy calves. **Journal of Dairy**
114 **Science**, v.97, p.4216–4226, 2014.

115
116 YATOO, M. I.; SAXENA, A.; DEEPA, P. M.; HABEAB, B. P; DEVI, S.; JATAV, R. S.;
117 DIMRI, U. Role of trace elements in animals: a review. **Veterinary World**, v. 6, n. 12, p. 963-
118 967, 2013.

119 CAPÍTULO 1 - MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS: UMA REVISÃO

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico Boletim da Indústria Animal.

MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS: UMA REVISÃO

BENTO, Anderson Luiz de Lucca¹; FRANCO, Gumercindo Lorianio^{1*}

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Av. Senador Filinto Muller, 2443, Vila Ipiranga, CEP 79070-900, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

*Endereço para correspondência: gumercindo.franco@ufms.br

MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BOVINOS DE CORTE: UMA REVISÃO

RESUMO

Os microminerais são elementos requeridos em pequenas quantidades, são imprescindíveis para o funcionamento normal de todos os processos metabólicos e essenciais para a manutenção da saúde e imunidade dos animais, sendo importantes para a função de diversas enzimas e proteínas, que atuam em um grande número de processos digestivos, fisiológicos e biossintéticos no corpo, tendo assim papel vital no crescimento, produção e reprodução. A oxidação é um processo normal do metabolismo, onde são produzidos radicais livres, que podem causar danos a outras macromoléculas e interrupção do metabolismo normal. Em animais saudáveis, o sistema antioxidante atua na redução desses radicais conforme são produzidos pelo metabolismo, prevenindo a ocorrência de danos a células e organelas. Em momentos de elevada demanda metabólica, a velocidade de produção de radicais livres pode superar a capacidade de neutralização pelo sistema antioxidante, levando a ocorrência do estresse oxidativo. O Cu, Mn, Se e Zn, são minerais chave nesse processo. Quando esses minerais encontram-se em quantidades suficientes no organismo, o corpo é capaz de produzir antioxidantes em quantidades adequadas, prevenindo ou minimizando a ocorrência de danos causados pelo estresse oxidativo. A administração de microminerais via injeções subcutâneas é um método que apresenta como vantagens o fornecimento individual de quantidades conhecidas de microminerais aos animais, removendo a variabilidade associada a flutuações no consumo voluntário e interações com outros minerais no trato gastrointestinal e a possibilidade de utilização em ambientes onde o fornecimento de misturas minerais pode ser dificultado, tendo sido reportados efeitos positivos sobre a saúde, resposta imune, eficiência alimentar e desempenho de bovinos. Fontes de microminerais contendo Cu, Mn e Zn quelatadas com EDTA e selenito de sódio demonstraram proporcionar incrementos no status de microminerais, sem causar a ocorrência de reações inflamatórias no local da injeção, complementando a suplementação convencional, podendo ser utilizadas de forma estratégica em fases do ciclo de produção onde a suplementação oral pode não atender completamente as exigências nutricionais dos animais. Estudos evidenciam os potenciais benefícios da suplementação injetável com microminerais em diferentes momentos do ciclo produtivo de bovinos, comumente associados a um maior estresse oxidativo e imunidade deprimida.

Palavras-chaves: bezerros, estresse oxidativo, imunidade, minerais traço

INJECTABLE TRACE MINERALS FOR BEEF CATTLE: A REVIEW

ABSTRACT

Trace minerals are elements required in small quantities, they are essential for the normal functioning of all metabolic processes and essential for maintaining health and immunity of animals, being important for function of several enzymes and proteins, which act in a large number of digestive, physiological and biosynthetic processes in the body, thus, having a vital role in growth, production and reproduction. Oxidation is a normal process of metabolism, where free radicals are produced, which can cause damage to other macromolecules and disrupt normal metabolism. In healthy animals, antioxidant system acts to reduce these radicals as they are produced by metabolism, preventing damage to cells and organelles. In times of high metabolic demand, the speed of free radical production can overcome the neutralization capacity by the antioxidant system, leading to oxidative stress. Cu, Mn, Se and Zn are key elements in this process. When these minerals are found in sufficient amounts, the body is able to produce antioxidants in adequate amounts, preventing or minimizing the occurrence of damage caused by oxidative stress. Trace minerals administration by subcutaneous injections is a method that has as advantages the individual supply of known amounts of trace minerals to animals, removing the variability associated with fluctuations in voluntary intake and interactions with other minerals in the gastrointestinal tract and the possibility of use in environments where the supply of mineral mixtures can be difficult, with positive effects on health, immune response, feed efficiency and performance of cattle being reported. Trace mineral sources containing Cu, Mn and Zn chelated with EDTA and sodium selenite have been shown to provide increases in micro mineral status, without causing inflammatory reactions at the injection site, making it a possible complementary source to conventional supplementation, which can be used strategically in stages of the production cycle where oral supplementation may not fully meet the nutritional requirements of animals. Studies evidence the potential benefits of injectable supplementation with trace minerals at different times in cattle production cycle, commonly associated with greater oxidative stress and depressed immunity.

Key-words: calves, immunity, oxidative stress, trace minerals

INTRODUÇÃO

Cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), iodo (I), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn), são os microminerais exigidos por ruminantes (NASEM, 2016). Embora sejam necessários em pequenas quantidades, são altamente essenciais para a manutenção da saúde e imunidade dos animais, sendo importantes para a função de diversas enzimas e proteínas, que atuam em um grande número de processos digestivos, fisiológicos e biossintéticos no corpo, tendo assim papel vital no crescimento, produção e reprodução (YATOO et al., 2013).

Ruminantes em pastejo estão frequentemente sujeitos a ocorrência de deficiências e desequilíbrios nutricionais, que são em geral, corrigidas com programas de suplementação, contudo, o atendimento desses requerimentos pode ser dificultado devido a diversos fatores, como a presença de elementos antagonistas na forragem e água de bebida, e dificuldades na garantia de um consumo regular e previsível de suplemento mineral.

Desse modo, a inclusão dos microminerais na dieta pode não assegurar o consumo e absorção de níveis adequados em decorrência de variações no consumo de alimento entre os animais e conseqüentemente na ingestão de microminerais, e interações destes com elementos antagonistas, que podem apresentar efeito negativo sobre sua absorção no trato digestivo (MACHADO et al., 2013).

Deficiências subclínicas de microminerais podem ocorrer de forma frequente, gerando perdas difíceis de quantificar, devido a não levarem a ocorrência de sintomas específicos, proporcionando taxas de crescimento e reprodutivas reduzidas e menor eficiência do sistema imune (SUTTLE, 2010). Ainda, a demanda de alguns microminerais pode ser elevada em períodos do ciclo produtivo onde os animais são submetidos a maiores níveis de estresse, como próximo ao parto e início da lactação, desmame e entrada no confinamento (LÓPEZ-ALONSO, 2012).

Efeitos positivos do fornecimento e melhoria do status de microminerais sobre a saúde e produção animal, evidenciando reduções de morbidade, diminuição de custos com tratamentos e melhoria no desempenho produtivo foram demonstrados (BITTAR et al., 2020; MACHADO et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2014; YATOO et al., 2013).

Alternativas que possam complementar a suplementação mineral convencional (mistura mineral em pó) durante períodos críticos do sistema de produção podem ser

utilizadas para fornecer microminerais chave, visando efeitos positivos sobre a saúde e produtividade do rebanho.

A administração de microminerais via injeções subcutâneas é um método de suplementação que apresenta como vantagens o fornecimento individual de quantidades conhecidas de microminerais aos animais, removendo a variabilidade associada a flutuações no consumo voluntário e interações com outros minerais no trato gastrointestinal e a possibilidade de utilização em ambientes onde o fornecimento de misturas minerais pode ser dificultado (ARTHINGTON et al., 2014). Estudos com a utilização dessa técnica têm reportado efeitos positivos sobre a saúde, resposta imune, eficiência alimentar e desempenho de bovinos (CLARK et al., 2006; RICHESON e KEGLEY, 2011; ARTHINGTON e HAVENGA, 2012).

Nessa revisão serão abordadas as principais informações existentes na literatura a respeito da importância e função dos microminerais e o efeito da utilização de microminerais injetáveis sobre a saúde e desempenho de bovinos em diferentes etapas do sistema de produção.

DISPONIBILIDADE E IMPORTÂNCIA DOS MICROMINERAIS NO ORGANISMO ANIMAL

Cobalto (Co)

O cobalto (Co) está presente no organismo animal em maiores concentrações no fígado e nos rins, e na composição da vitamina B₁₂ (cobalamina), sua principal função. Quando os níveis dietéticos de Co são adequados, as exigências de vitamina B₁₂ do animal hospedeiro são geralmente atendidas pela síntese ruminal (SPEARS e WEISS, 2014).

Esta vitamina é produzida apenas por microrganismos, sendo demonstrado que de 3 a 13% do Co ruminal é convertido a vitamina B₁₂. Os requerimentos de Co de vacas e bovinos de corte em crescimento e terminação foram estimados em 0,15 mg/kg de MS pelo NASEM (2016).

A privação desse mineral resulta essencialmente em uma deficiência de vitamina B₁₂, devido à incapacidade dos microrganismos ruminais sintetizarem quantidades suficientes dessa vitamina a partir do baixo suprimento de Co (SUTTLE, 2010).

A vitamina B₁₂ atua como cofator de duas enzimas encontradas no organismo animal, a Metilmalonil-CoA mutase e a Metionina sintase. A Metilmalonil-CoA mutase é

essencial para o metabolismo do propionato a succinato, que atua como intermediário no ciclo do ácido tricarboxílico, catalizando a conversão de L-Metilmalonil-CoA a Succinil-CoA, interferindo assim no metabolismo de aminoácidos, ácidos graxos e colesterol (TIFFANY e SPEARS, 2005).

A Metionina sintase atua catalisando a transferência de grupos metila ($-\text{CH}_3$) para a homocisteína, formando metionina e tetraidrofolato. Essa reação é importante para a regeneração da metionina, essencial para os processos de síntese proteica e metabolismo de fosfolipídeos e gordura no fígado.

Adicionalmente, o Co influencia o metabolismo de alguns microrganismos ruminais, onde, a via envolvida na conversão de succinato a L-metilmalonil-CoA e posteriormente a propionato é a inversa da encontrada no fígado de ruminantes, envolvendo também a enzima Metilmalonil-CoA mutase dependente de vitamina B_{12} (NASEM, 2016; TIFFANY e SPEARS, 2005).

O principal sinal clínico associado a deficiência de Co é uma falta de apetite, e como consequência, deficiências de vitamina B_{12} induzidas por Co resultam em reduções no ganho médio diário (GMD), no consumo de matéria seca (CMS), eficiência alimentar, digestibilidade da MS e nas concentrações ruminais, no plasma e no fígado de vitamina B_{12} e glicose plasmática em ruminantes (TIFFANY e SPEARS, 2005; WANG et al., 2007; BISHEHSARI et al., 2010).

As leguminosas possuem maiores concentrações de Co comparativamente a gramíneas, podendo a composição destas ser amplamente variáveis em função da espécie forrageira e das condições do solo. Baixos níveis de Co nas pastagens têm sido associados predominantemente a áreas de solos arenosos, solos alcalinos ou com excesso de manganês (Mn), o que pode levar a redução da absorção desse elemento pelas forrageiras. Ingredientes concentrados são normalmente pobres em Co, sendo usualmente necessária sua suplementação (SUTTLE, 2010; NASEM, 2016).

Cobre (Cu)

Os requerimentos de Cu em ruminantes são altamente dependentes da presença de elementos antagonistas como molibidênio (Mo), enxofre (S), ferro (Fe) e zinco (Zn), que podem influenciar a absorção e o metabolismo do Cu, principalmente associados a formação de tiomolibidatos no rúmen, que se ligam ao Cu, tornando-o altamente insolúvel (SUTTLE, 2010).

A concentração deste micromineral recomendada na dieta de bovinos pode variar de 4 a mais de 15 mg/kg de MS, sendo fixada em 10 mg/kg de MS caso a dieta não exceda 0,25% de S e 2 mg/kg de Mo, podendo ser inferior em bovinos confinados devido a maior disponibilidade do Cu em dietas ricas em concentrado (NASEM, 2016).

O teor de cobre das forragens varia de acordo com a espécie, maturidade da planta, condições do solo e uso de fertilizantes, de forma geral, as concentrações podem variar de 4,5 a 21,1 mg/kg de MS em forragens, de 4 a 8 mg/kg em cereais, e de 15 a 30 mg/kg em sementes de oleaginosas e farelos. Co-produtos de destilaria como o xarope de cerveja, e grãos secos de destilaria de cevada e trigo são fontes notoriamente ricas em cobre, podendo variar de 44 a 138 mg/kg de MS, sendo o cobre dissolvido nesses resíduos durante a fermentação (LÓPEZ-ALONSO, 2012; NASEM, 2016).

A concentração dos minerais antagonistas pode variar entre as espécies, sistemas de manejo e estações. O teor de molibdênio das forragens aumenta com o aumento no pH do solo, e elevadas concentrações de molibdênio e enxofre podem ocorrer em solos com elevado teor de matéria orgânica. Leguminosas tendem a apresentar maiores teores de molibdênio quando comparadas a gramíneas. O teor de enxofre das forragens se correlaciona com seu teor proteico, havendo uma redução na sua concentração com o aumento na maturidade da forragem. Pastos de primavera são frequentemente ricos em ferro devido a contaminação com solo. Pastos superpastejados ou em áreas propensas a inundações também apresentam níveis elevados de ferro (SUTTLE, 2010).

A deficiência de Cu é uma das deficiências minerais mais comuns ao redor do mundo, e a sua suplementação é comumente realizada por meio de misturas minerais contendo carbonatos, sulfatos ou óxidos. De modo geral, os óxidos de Cu apresentam uma baixa disponibilidade comparativamente a sulfatos e carbonatos de Cu, que têm apresentado disponibilidades relativas semelhantes. Fontes orgânicas de Cu também podem ser utilizadas visando a redução do efeito de elementos antagonistas no trato gastrointestinal (TGI), todavia, estudos avaliando estas fontes têm demonstrado resultados inconsistentes (NASEM, 2016).

Em uma revisão de literatura, Spears e Weiss (2014) relataram respostas inconsistentes da suplementação com Cu a animais recebendo dietas basais contendo concentrações de Cu abaixo das exigências nutricionais, com eventuais reduções na contagem de células somáticas (CCS) de vacas leiteiras submetidas a desafio imunológico e aumentos no GMD, eficiência alimentar e CMS de bovinos de corte criados de forma intensiva.

O cobre (Cu) está presente em uma série de enzimas, cofatores e proteínas reativas, como a citocromo C oxidase, superóxido dismutase, ceruloplasmina e tirosinase, que atuam na respiração celular, proteção contra agentes oxidantes e no transporte de ferro, sendo essencial para a atividade dessas enzimas (SUTTLE, 2010; NASEM, 2016).

A citocromo C oxidase é um complexo enzimático responsável pela transferência terminal de elétrons na cadeia respiratória, sendo assim essencial para a geração de energia em todos os tecidos. Baixas atividades dessas enzimas podem desencadear uma série de distúrbios, com destaque para o comprometimento da cadeia respiratória nos neutrófilos, que são parte integrante da imunidade celular, reduzindo assim sua atividade (SUTTLE, 2010; PAUL e DEY, 2015).

Os neutrófilos também se utilizam da cadeia respiratória para gerar radicais livres, que atuam contra patógenos, sendo o ânion superóxido (O_2^-) o principal radical livre produzido durante processos inflamatórios. Esses radicais são formados como um produto final normal do metabolismo celular, sendo definidos como moléculas que possuem pelo menos um elétron não emparelhado, tornando-os instáveis, podendo assim, promover a transferência de elétrons através de reações de redução e oxidação, exigindo um sistema de defesa antioxidante ativo nessas células para evitar danos à própria célula (SORG, 2004).

Esses radicais livres podem então interagir com outras moléculas, levando a formação de mais espécies reativas ao oxigênio, o que pode resultar em dano tecidual significativo devido a sua ação sobre lipídios, proteínas, DNA e outras macromoléculas, podendo levar a ocorrência de uma cadeia autocatalítica caso não sejam adequadamente reduzidos no sítio de formação (SORDILLO e AITKEN, 2009).

As proteínas superóxido dismutase e a ceruloplasmina possuem Cu na sua composição e estão envolvidas no sistema de defesa antioxidante. A superóxido dismutase é uma enzima que cataliza a reação de dismutação onde ânions superóxido (O_2^-) são convertidos a água (H_2O) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) no citosol, podendo este último ser convertido a H_2O e O_2 em diferentes reações catalizadas pelas enzimas catalase e glutathione peroxidase (SORG, 2004).

A ceruloplasmina contém cerca de 70 a 90% do Cu plasmático, sendo uma cuproproteína de transporte que atua na oxidação do ferro na forma férrica (Fe^{+3}), que pode causar oxidação e peroxidação dos tecidos, a sua forma ferrosa (Fe^{+2}), sendo uma proteína da fase aguda que possui sua concentração aumentada durante doenças, podendo ser importante na remoção de radicais livres (SPEARS e WEISS, 2008).

Outras enzimas como a tirosinase, responsável pela síntese de melanina, hidroxilase, principal enzima associada a produção de catecolaminas (adrenalina, noradrenalina, triptamina e serotonina), associadas a transmissão neuronal no sistema nervoso central, e a lisil oxidase, associada a estabilidade de estruturas nos tecidos conectivos, possuem Cu em sua composição e podem ser influenciadas pela ocorrência de deficiências (KIM et al., 2008).

Os sintomas de deficiência de Cu estão geralmente associados com a redução da atividade dessas cuproenzimas, sendo as manifestações mais comuns a ocorrência de anemias, diarreia, distúrbios ósseos, falhas na pigmentação e queratinização da pele, e reduções no volume corpuscular e concentração de hemoglobina, decorrentes de alterações no metabolismo do ferro. Formas nervosas podem se manifestar principalmente em ovinos e caprinos decorrentes da degeneração dos neurônios e da mielina (ROSA e MATTIOLI, 2002).

Ainda, em momentos críticos, a redução da atividade dessas enzimas pode aumentar o estresse oxidativo e podendo assim, apresentar um impacto negativo sobre a resposta imune dos animais pela depleção na atividade de células de defesa como os neutrófilos, monócitos e células T, bem como reduzir a produção de anticorpos (OVERTON e YASUI, 2014).

Cromo (Cr)

Estudos demonstram que o cromo (Cr) atua sobre o metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas. Este elemento atua nos tecidos sensíveis a insulina, potencializando a ação desse hormônio devido a sua ligação a oligopeptídeos de baixo peso molecular, levando a uma maior atividade do receptor para insulina tirosina quinase, resultando em maiores velocidades de desaparecimento da glicose sanguínea ou menores demandas de liberação de insulina (SPEARS et al., 2012).

Outros estudos relatam ainda que a suplementação com esse mineral pode proporcionar melhoras na resposta imune (SPEARS, 2000), ingestão de alimentos e a produção de leite (VARGAS-RODRIGUEZ et al., 2014), saúde e desempenho em bezerros submetidos a estresse (BERNHARD et al., 2012).

A concentração de Cr na maioria dos ingredientes comumente utilizados na alimentação de ruminantes é baixa, sendo comumente inferior a 0,05mg/kg de MS em grãos de cereais, entre 0,15 mg/kg em feno de gramíneas e 0,52 mg/kg em forrageiras (feno de alfafa) e apresentando grande variação em coprodutos, que podem apresentar

desde concentrações reduzidas, como no farelo de trigo e casca de caroço de algodão (0,04 a 0,084 mg/kg de MS) a valores elevados como observados na polpa de beterraba (1,22 mg/kg de MS) (SPEARS et al., 2017).

A suplementação desse elemento é permitida em níveis de até 0,5 mg/kg de MS na dieta de ruminantes pelo FDA, todavia, Spears et al. (2012) não observaram efeitos adversos ao suplementar vacas em lactação com níveis de até 2,0 mg/kg de MS durante 120 dias, com efeitos benéficos desde a dose de 0,47 mg/kg de MS, sugerindo esse valor como estimativa da necessidade de suplementação para atender aos requerimentos nutricionais de novilhas em crescimento.

Iodo (I)

O iodo (I) atua como constituinte dos hormônios da tireoide, triiodotironina (T_3) e tiroxina (T_4), que possuem 3 ou 4 átomos de iodo na sua estrutura, respectivamente. A forma ativa do hormônio T_3 atua na regulação do metabolismo energético corporal, controlando a taxa de transcrição de genes, com consequente efeito sobre a síntese proteica em todas as células e efeitos importantes sobre o desenvolvimento fetal, função termorreguladora e uma grande variedade de efeitos sobre o metabolismo intermediário, crescimento, função muscular, circulação e resposta imune (SUTTLE, 2010).

O requerimento desse micromineral é estimado em 0,5 mg/kg de MS para todas as fases dos sistemas de produção de bovinos de corte (NASEM, 2016), podendo haver deficiências em ruminantes criados em regiões endêmicas com baixo teor de iodo no solo ou com alimentos que contenham substâncias goitrogênicas (substâncias que dificultam a absorção de iodo como o tiocionato e os glicosinolatos) como os farelos de soja e algodão (SUTTLE, 2010).

O primeiro sinal de deficiência é geralmente o aumento da tireoide (bócio), com deficiências podendo levar ao nascimento de bezerros com poucos pelos, fracos ou mortos, decréscimo nos índices reprodutivos das fêmeas, caracterizados por uma ciclagem irregular, baixas taxas de concepção e retenção de placenta e redução de libido e da qualidade do sêmen em machos. O iodo é normalmente suplementado na dieta na forma de iodato de cálcio ou diidriodeto de etilenodiamina (sal iodado) (NASEM, 2016).

Ferro (Fe)

Ferro (Fe) é o micromineral presente em maiores concentrações no organismo animal, sendo um componente essencial de uma série de proteínas envolvidas no transporte e utilização de oxigênio como a hemoglobina, que representa cerca de 60% do Fe corporal, mioglobina, diversos citocromos e proteínas Fe-S envolvidas na cadeia tranaportadora de elétrons. Diversas outras enzimas também possuem Fe em sua composição ou são ativadas por esse elemento, como a succinato desidrogenase, que é uma enzima envolvida no ciclo do ácido tricarboxílico, e as enzimas catalase e peroxidase, envolvidas no sistema de defesa antioxidante, fazendo com que esse micromineral tenha influência sobre a função imune, metabolismo energético e do oxigênio em mamíferos (OVERTON e YASUI, 2014).

Deficiências de Fe normalmente não ocorrem em ruminantes, com exceção de jovens ruminantes e bezerros alimentados com leite em decorrência da rápida expansão na massa de hemácias, que pode aumentar sensivelmente a demanda por Fe e o risco de anemia nas primeiras semanas de vida (VAN RAVENSWAAY et al., 2001).

A maioria dos alimentos normalmente fornecidos a ruminantes apresentam elevadas concentrações desse mineral, com variações em função de fatores como a espécie forrageira, condições de crescimento e nível de contaminação com solo (SUTTLE, 2010). Cereais e farelos de oleaginosas normalmente apresentam concentrações variando de 100 e 200 mg/kg de MS de Fe em sua composição, enquanto forragens podem apresentar variações de 70 a 500 mg/kg de MS, provavelmente em decorrência de contaminações por solo (NASEM, 2016).

O requerimento de Fe na dieta de bovinos é de aproximadamente 50 mg/kg de MS para todas as categorias de bovinos de corte, valor considerado suficiente para prevenir casos de anemia em animais jovens e permitir seu adequado desenvolvimento, sendo normalmente exigido em menor quantidade por ruminantes adultos. O Fe é um forte agente pró-oxidante e muito reativo e seu excesso pode interferir na absorção de outros microminerais como o Cu e gerar radicais livres em demasia, podendo desencadear casos de diarreia e acidose metabólica e desempenho eficiência alimentar reduzidos. Ingestões acima de 250 a 500 mg/kg de MS demonstraram proporcionar depleção de Cu em ruminantes (NASEM, 2016).

Como as perdas desse mineral nas fezes e urina são baixas e a maioria dos ingredientes utilizados na alimentação de ruminantes apresentam concentrações de Fe acima dos requerimentos dos animais, deficiências podem ocorrer apenas em situações

atípicas, como em bezerros jovens alimentados exclusivamente com leite, principalmente quando em sistemas confinados, e durante a ocorrência de infestações parasitárias elevadas ou doenças que levem a perda crônica de sangue (NASEM, 2016).

Manganês (Mn)

O manganês (Mn) está envolvido em muitos dos mesmos processos que o zinco (Zn) e o cobre (Cu), sendo componente essencial de uma variedade de enzimas como a arginase, piruvato carboxilase, superóxido dismutase e ativador de enzimas como diversas quinases, hidrolases, transferases e descarboxilases, estando desse modo envolvido na função imune, no sistema de proteção antioxidante e no metabolismo de carboidratos e lipídios (OVERTON e YASUI, 2014).

A piruvato carboxilase está diretamente envolvida nos processos de obtenção de energia, sendo essa enzima responsável por catalisar o primeiro passo da síntese de carboidratos na gliconeogênese. O Mn também apresenta papel fundamental nas glicosiltransferases, envolvidas na biossíntese de glicosaminoglicanos como o sulfato de condroitina, ácido hialurônico e quelatan-sulfatos, influenciando assim na força e tensão de cartilagens, tendões, ligamentos e paredes arteriais, bem como no crescimento epifisário, afetando o crescimento longitudinal de ossos (SILVA et al. 2017).

Deficiências desse mineral podem acarretar em crescimento reduzido e anormalidades ósseas em animais jovens e problemas reprodutivos em machos e fêmeas, caracterizados por estros irregulares, baixos índices de concepção, abortos e baixos pesos ao nascimento (HOSTETLER et al., 2003).

A exigência de Mn foi estimada em 20 mg/kg de MS da dieta para bovinos em crescimento e terminação e 40 mg/kg de MS para animais em reprodução, gestantes ou lactantes. As forragens comumente apresentam níveis adequados e frequentemente muito acima dos requerimentos de Mn dos animais ruminantes, enquanto grãos e cereais são normalmente pobres nesse mineral, todavia, níveis dietéticos elevados de ferro (Fe), cálcio (Ca) e fósforo (P) podem prejudicar sua absorção, reduzindo sua disponibilidade e aumentando a excreção fecal deste elemento (SUTTLE, 2010; NASEM, 2016).

Por outro lado, níveis excessivos de Mn podem reduzir o balanço de Ca e P, bem como deprimir o status de Fe no organismo, e assim levar a ocorrência de alterações hematológicas decorrentes desse baixo status, mesmo em animais consumindo níveis adequados de Fe. Contudo, apesar da possibilidade de toxicidade existir, o Mn é

considerado um elemento de baixa toxicidade, sendo o nível máximo tolerado fixado em 1.000 mg/kg para períodos curtos (NASEM, 2016).

Molibdênio

A essencialidade do molibdênio foi estabelecida na década de 1950, quando foram identificadas as primeiras enzimas contendo molibdênio, sendo: a enzima sulfito oxidase, que atua na mitocôndria, catalisando a oxidação de sulfitos a sulfatos, como último passo da oxidação de aminoácidos sulfurados, a xantina oxidase, que atua na conversão das hipoxantinas, formadas a partir da deaminação da adenina, a xantina e ácido úrico, prevenindo que a primeira cause mutações na molécula de DNA por substituir a tiamina em ligações com a citosina, e a aldeído oxidase, presente em maiores concentrações no fígado catalizando a oxidação de aldeídos em ácidos carboxílicos, bem como na oxidação de compostos nitrogenados heterocíclicos (NOVOTNY, 2011).

A concentração desse elemento nas forragens varia em função do tipo e pH do solo, onde solos neutros a alcalinos, em associação com elevada umidade e matéria orgânica, aumentam seu teor nas forrageiras. Os requerimentos desse mineral ainda não são bem estabelecidos, tendo sido demonstradas melhoras na degradação da MS quando suplementado em estudos *in vitro* e em ovinos em algumas circunstâncias, com resultados amplamente variáveis, não havendo evidências que sua deficiência ocorra em ruminantes em condições práticas (NASEM, 2016).

Seu metabolismo pode ser prejudicado por níveis elevados de enxofre (S) na dieta, que induz a formação de tiomolibidatos no rúmen, reduzindo a absorção e o metabolismo pós-absortivo do Mo. Por outro lado, níveis baixos de Mo na dieta podem levar a deficiências de Cu e de forma contrária, níveis elevados de Cu podem culminar em toxicidade por Mo (NASEM, 2016).

Níquel

Embora inicialmente fosse considerado um mineral predominantemente tóxico para ruminantes, sua essencialidade na nutrição de ruminantes foi demonstrada em estudos que produziram sua deficiência de forma experimental, embora, seu papel no organismo ainda seja pouco conhecido. O níquel (Ni) atua como componente essencial da enzima urease, apresentando assim um papel chave na reciclagem ruminal de N (NASEM, 2016).

Os dados existentes não são suficientes para determinar os requerimentos de Ni (NASEM, 2016), todavia, estudos demonstram efeitos positivos de sua suplementação sobre a atividade da enzima urease e desempenho de animais suplementados (SINGH et al., 2019).

Os níveis máximos tolerados foram estabelecidos em 50 mg/kg de MS, enquanto sua concentração nos alimentos costuma variar de 0,5 a 3,5 mg/kg na maioria dos ingredientes utilizados na alimentação de ruminantes (SINGH et al., 2019).

Selênio (Se)

Durante várias décadas, o selênio (Se) foi reconhecido como um elemento potencialmente tóxico, passando a ser tratado como um nutriente essencial apenas no final da década de 1950, quando sua deficiência, em conjunto com deficiências de vitamina E, foram associadas a distúrbios como a necrose do fígado em ratos, diátese exsudativa em aves e a doença do músculo branco em cordeiros e bezerros (SUTTLE, 2010).

O Se atua como elemento estrutural de ao menos 25 selenoproteínas, substituindo o enxofre (S) em sua estrutura, tornando essas proteínas capazes de realizar a doação de íons hidrogênio e assim participar de reações de redução (NASEM, 2016).

A glutathione peroxidase foi a primeira selenoproteína identificada, sendo conhecidas atualmente pelo menos quatro glutathione peroxidases distintas, que atuam na regulação dos processos oxidativos e proteção a membrana celular contra os radicais livres gerados no metabolismo intermediário. Essas enzimas atuam catalizando a redução desses radicais e assim prevenindo o dano oxidativo causado as membranas mitocondiais e celulares, sendo esse papel compartilhado com outras enzimas como a superóxido dismutase dependente de Cu e Zn ou Mn, catalase e glutathione-S-transferase, além da vitamina E (HEFNAWY e TORTORA-PEREZ, 2010).

As iodotironinas diiodinases (iodotironina 5-deiodinase tipos I, II e III) são outro grupo de selenoenzimas de elevada relevância, sendo atuantes na conversão do hormônio tireoidiano T4 em sua forma ativa T3, influenciando assim uma ampla gama de processos fisiológicos como a taxa metabólica basal, parto e resistência ao estresse por frio, com consequentes efeitos adversos a produção em casos de deficiência (HEFNAWY e TORTORA-PÉREZ, 2010; CHAUHAN et al., 2014).

Ainda, outras selenoproteínas estão presentes em menores concentrações nos testículos, tecidos muscular e ósseo e no plasma e atuam em funções variadas como

transportadores, antioxidantes e proteínas de armazenamento, entre outras (SUTTLE, 2010).

A exigência de Se para todas as categorias de bovinos de corte foi fixada em 0,1 mg/kg de MS e sua concentração em gramíneas comumente varia de 0,02 a 0,1 mg/kg de MS, podendo chegar a 0,9 mg/kg de MS em leguminosas como a alfafa e permanecendo entre 0,03 e 0,8 mg/kg de MS em cereais e sementes de oleaginosas. A ingestão de 2 mg/kg de MS é considerada como o limite tolerável na dieta de bovinos (NASEM, 2016). Os fatores que podem influenciar os requerimentos por selênio ainda não estão bem definidos, todavia, dietas pobres em vitamina E ou com níveis elevados de enxofre (S) parecem demandar maiores níveis de Se para prevenir a ocorrência de injúrias.

Níveis inadequados podem levar a ocorrência de problemas reprodutivos, como baixa viabilidade do sêmen em machos e maior incidência de endometrites, ovários císticos e retenção de placenta em fêmeas, aumento nos índices de mortalidade perinatal e pós-natal e baixa resistência a doenças, culminando em reduções no desempenho produtivo (SUTTLE, 2010; HEFNAWY e TORTORA-PEREZ, 2010).

Zinco (Zn)

O Zinco (Zn) é um componente essencial de mais de 300 enzimas, incluindo enzimas envolvidas na síntese de DNA e RNA, no sistema de proteção antioxidante como componente das enzimas superóxido dismutase Cu-Zn e da metalotioneína, em reações enzimáticas associadas ao metabolismo de carboidratos, absorção de lipídeos, síntese proteica e esteroidogênese, sendo essencial em células como as gonadais, do sistema imune e do feto, que apresentam taxas elevadas de proliferação e diferenciação (SPEARS e WEISS, 2008; OVERTON e YASUI, 2014).

Este mineral encontra-se amplamente distribuído no corpo, como componente de metaloenzimas e metaloproteínas, com papel fundamental na expressão gênica, que interfere em uma ampla variedade de processos do organismo como a divisão celular, crescimento, produção de hormônios, controle do apetite, e função imune. O Zn apresenta ainda papel catalítico, estrutural ou como cofator de diversas enzimas que regulam diferentes processos fisiológicos (OVERTON e YASUI, 2014).

Níveis inadequados de ingestão de Zn resultam em retardo de crescimento, anorexia, baixa ingestão de alimentos e eficiência alimentar, paraqueratose, baixa fertilidade, reduzido crescimento testicular, baixos valores séricos de Zn e baixa

resistência a doenças e ao estresse e resposta imune reduzida. A espermatogênese e o desenvolvimento dos órgãos sexuais em macho e todas as fases do ciclo reprodutivo em fêmeas, envolvendo o estro, gestação e lactação são afetadas por deficiências desse mineral, que podem acarretar também em teratogênese fetal, gestação prolongada, baixos pesos ao nascimento e desmame e dificuldade de parto (SMITH e AKINBAMIJO, 2000; HOSTETLER et al., 2003).

Os mecanismos associados ao retardo no crescimento em casos de deficiência de Zn envolvem a perda de apetite, baixa eficiência no uso de nutrientes e desequilíbrios dos metabolismos proteico e energético (HOSNEDLOVA et al., 2007).

Apesar do consenso de que a demanda por Zn possa ser superior para animais em reprodução, gestação e início da lactação, os requerimentos desse mineral para bovinos de corte nessas situações não estão bem definidos, sendo recomendado o fornecimento de 30 mg/kg de MS da dieta, concentração considerada satisfatória para a maioria das situações de produção (NASEM, 2016).

A espécie forrageira, bem como o tipo de grão parece apresentar pouca influência sobre a concentração de Zn dos alimentos, sendo esta amplamente influenciada pela concentração desse mineral no solo. As forragens apresentam entre 25 e 50 mg/kg de MS, fenos e silagens tendem a apresentar valores inferiores devido aos cortes consecutivos da forragem, com valores normais entre 13-25 e 12-45 mg/kg de MS, respectivamente. Cereais normalmente possuem entre 14-50 mg/kg de MS, enquanto farelos proteicos podem apresentar níveis mais elevados, com valores de até 80 mg/kg de MS (SUTTLE, 2010).

A absorção de zinco pode ser reduzida quando a dieta apresentar níveis elevados de alguns elementos como Ca, Cu, Se e Cádmio (Cd). De forma inversa, a presença de Zn em níveis demasiadamente elevados poderá induzir a deficiências desses elementos, principalmente Cu, sendo a concentração máxima tolerável ao redor de 500 mg/kg de MS (NASEM, 2016; SILVA et al., 2017).

POTENCIAIS BENEFÍCIOS DO FORNECIMENTO DE MICROMINERIAS ACIMA DOS REQUERIMENTOS NUTRICIONAIS

Há evidências indicando que o fornecimento de alguns microminerais em níveis acima dos requerimentos nutricionais podem proporcionar efeitos positivos sobre a saúde animal, principalmente quando associados a períodos de maior estresse para o

animal, como no desmame, período reprodutivo, transporte, durante infecções e quando submetidos ao estresse térmico ou momentos de elevada demanda metabólica, como em vacas em lactação, principalmente naquelas altamente produtivas e entrada de animais em confinamento. O estresse fisiológico associado a esses períodos pode deprimir o sistema imune, facilitando a ocorrência e instalação de infecções, que prejudicam a saúde e desempenho animal (ANDRIEU, 2008).

A oxidação é um processo normal do metabolismo, onde são produzidos radicais livres e espécies reativas ao oxigênio (ROS) como O_2^- , O^- , OH^- , NO^- . Essas moléculas podem causar danos a outras macromoléculas e interrupção do metabolismo normal. Em animais saudáveis, o sistema antioxidante atua na redução desses radicais livres conforme estes são produzidos pelo metabolismo, prevenindo assim a ocorrência de danos a células, organelas e metabólitos.

Diversas moléculas antioxidantes são produzidas ou utilizadas pelas células visando protegê-las dos danos causados pelos radicais livres. Essa defesa pode ocorrer por meio de sistemas enzimáticos, como via superóxido dismutase, catalase, glutathione peroxidase e glutathione reductase, ou por meio de sistemas não enzimáticos, por meio do ácido ascórbico, carotenoides, ceruloplasmina, ácido úrico, bilirrubina, entre outros (ANDRIEU, 2008).

Assim, reações de oxidação e redução ocorrem de forma constante no corpo. Contudo, caso haja desequilíbrio entre esses processos, os produtos finais da oxidação podem se acumular e assim provocar danos aos tecidos.

Em momentos de elevada demanda metabólica, a velocidade de produção de radicais livres pode superar a capacidade de neutralização desses radicais pelo sistema antioxidante, levando a ocorrência do estresse oxidativo, podendo assim, levar a ocorrência de danos oxidativos a proteínas, carboidratos e lipídios, prejudicando a função celular (BERNABUCCI et al., 2002).

Estudos têm sugerido que o estresse oxidativo é um importante fator para a ocorrência de respostas inflamatórias e resposta imune reduzida, aumentando a susceptibilidade do animal a uma grande variedade de distúrbios metabólicos e problemas de saúde (BERNABUCCI et al., 2005; SHARMA et al., 2011).

O dano oxidativo causado pelos radicais livres a membrana dos glóbulos brancos pode contribuir para esse incremento na susceptibilidade a ocorrência de doenças durante esses períodos de elevada demanda metabólica. Devido a elevada concentração de ácidos graxos insaturados em suas membranas, os glóbulos brancos são

particularmente sensíveis ao estresse oxidativo e possuem sua habilidade de defender o organismo contra desafios imunológicos reduzida quando submetidas a esse estresse (SPEARS e WEISS, 2008).

Com base nas funções dos diferentes microminerais discutidas anteriormente, onde uma ampla gama das enzimas e proteínas antioxidantes são dependentes desses minerais como parte de sua estrutura ou como cofatores, podemos perceber sua relevância na função antioxidante das células e, conseqüentemente, sua relevância para a função imune dos animais.

O Cu, Mn, Se e Zn são considerados minerais chave nesse processo. Cobre, manganês e zinco, são componentes do sistema antioxidante principalmente em decorrência da sua presença em enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase, que atua na redução de radicais superóxidos (O_2^-) a peróxido de hidrogênio (H_2O_2). O Se por sua vez atua como componente da enzima glutathione peroxidase, que atua na conversão do peróxido de hidrogênio a água (H_2O), entre outras funções já discutidas anteriormente (ANDRIEU, 2008; BATES et al., 2020).

Desse modo, quando esses minerais encontram-se em quantidades suficientes no organismo animal, este é capaz de produzir antioxidantes em quantidades adequadas, prevenindo ou minimizando a ocorrência de danos causados pelo estresse oxidativo. Por outro lado, caso estes elementos sejam deficientes, a capacidade de produção de enzimas antioxidantes ficará comprometida, o que poderá resultar em maior dano oxidativo aos tecidos, moléculas biológicas e membranas, podendo provocar disfunções celulares ou mesmo seu rompimento (BERNABICCI et al., 2002).

Como diversos microminerais estão envolvidos no sistema de defesa antioxidante, a sua demanda pode ser aumentada nesses períodos de elevada demanda metabólica, e um déficit desses nutrientes poderia provocar desequilíbrios no sistema antioxidante e conseqüentemente deprimir a imunidade dos animais nesses períodos (SPEARS e WEISS, 2008).

Nesse cenário, a maneira mais adequada de equilibrar o sistema antioxidante está associada a suplementação e otimização do uso de minerais antioxidantes, e o seu fornecimento acima dos requerimentos nutricionais durante esses períodos de maior estresse oxidativo, visando atender a essa demanda aumentada, poderá auxiliar no controle e redução dos danos oxidativos causados as células (ANDRIEU, 2008).

As deficiências básicas desses microminerais têm sido supridas através do fornecimento de sais inorgânicos como o sulfato de cobre, óxido de zinco e selenito de

sódio, todavia, diferentes interações negativas desses metais com outros elementos podem ocorrer, reduzindo sua absorção ou tornando-os menos disponíveis para o metabolismo animal. Como exemplo, Fe, Co e Mn podem competir por sítios de absorção, enxofre e Mo podem formar complexos insolúveis ligados ao Cu, como os tetratiomolibdatos e os precipitados de sulfeto de cobre, tornando-o indisponível para absorção (NASEM, 2016).

Visando minimizar essas interferências, hidroximinerais (formas inorgânicas dos metais que possuem ligações covalentes com cloreto) e formas orgânicas (microminerais quelatados, complexados ou ligados de forma covalente a moléculas orgânicas como aminoácidos e seus análogos, proteínas e ácidos orgânicos) têm sido estudados e disponibilizados como alternativas de maior biodisponibilidade frente a fontes inorgânicas (SPEARS, 2003). Ainda, hidroximinerais parecem ter uma maior aceitabilidade por bovinos frente a fontes sulfuradas ou orgânicas, podendo auxiliar na redução de flutuações de consumo e na melhora do status de microminerais (RANCHES et al., 2021).

Os principais efeitos positivos associados ao fornecimento de microminerais em maiores doses ou em formas mais disponíveis são a melhora na resposta imune, redução nos níveis de marcadores de atividade inflamatória e estresse oxidativo e melhora no desempenho produtivo (YASUI et al., 2009; OVERTON e YASUI, 2014), todavia, os resultados têm sido variáveis.

Embora dietas completas ou suplementos mineralizados em pó sejam formulados para atender as exigências de bovinos nas diferentes fases do sistema de produção, incluindo quantidades adequadas de microminerais, as possíveis interações entre nutrientes no rúmen, períodos de apetite reduzido, acesso restrito aos comedouros, ocorrência de distúrbios digestivos, entre outros aspectos, podem limitar seu consumo ou a disponibilidade dos microminerais aos animais (GANDA et al., 2016).

Ranches et al. (2021) relataram maior ingestão de MS total e de concentrado, e maiores níveis de ceruloplasmina plasmática, em bezerros suplementados com blocos minerais enriquecidos com Cu, Mn e Zn, comparativamente aqueles consumindo blocos não enriquecidos, todavia, houve uma grande variação nos resultados obtidos entre os anos de avaliação, sendo os resultados afetados pela grande flutuação de consumo observada (diferença de 40% entre os anos).

Fontes de microminerais injetáveis contendo fontes de Cu, Mn e Zn quelatadas com EDTA e selenito de sódio demonstraram proporcionar incrementos no status de

microminerais de bovinos, sem causar a ocorrência de reações inflamatórias no local da injeção, tornando-se uma possível fonte complementar à suplementação convencional, podendo ser utilizadas de forma estratégica em fases do ciclo de produção onde a suplementação oral pode não atender completamente as exigências nutricionais dos animais como, durante o período de transição, período reprodutivo e no desmame (ARTHINGTON e HAVENGA, 2012; POGGE et al., 2012).

EFEITO DA APLICAÇÃO DE MICROMINERAIS INJETÁVEIS EM VACAS

Diversos autores avaliaram a suplementação com microminerais via parenteral durante o período de transição em vacas leiteiras. Nesse período, que compreende de três semanas pré a três semanas após o parto, a vaca sofre um grande desafio metabólico decorrente da elevada demanda de nutrientes para atender ao crescimento fetal e o metabolismo intenso da glândula mamária para a síntese de leite, associados ainda a uma baixa capacidade de ingestão de MS, que leva os animais a entrarem em balanço energético negativo, aumentando a lipólise e o catabolismo proteico (ROCHE et al. 2009).

Esse período de elevada demanda metabólica leva a aumentos consideráveis no consumo de oxigênio pelos tecidos, resultando em uma elevada produção de ROS, exigindo uma maior disponibilidade de defesas antioxidantes, visando reduzir o acúmulo de radicais livres, que frequentemente, expõe os animais a elevados níveis de estresse oxidativo (SORDILLO e AITKEN, 2009).

Ao realizar três aplicações (230 e 260 dias de gestação e 35 dias pós-parto) de 5 mL de uma mistura de microminerais (Cu, Mn, Se e Zn) não foram observados efeitos significativos de sobre a produção de leite, todavia, foram observados efeitos positivos da suplementação sobre a saúde do úbere, com reduções na contagem de células somáticas (CCS) e na incidência de mastite subclínica (CCS acima de 200.000×10^3 células/mL e negativa para mastite clínica) e uma redução de aproximadamente 40% na ocorrência de casos de mastite clínica quando comparado aos animais do grupo controle (MACHADO et al., 2013).

Utilizando esse mesmo protocolo de suplementação, de microminerais via parenteral, Machado et al. (2014) trabalhando com vacas holandesas, mantidas em sistema free-stall, observaram maior atividade de SOD nos animais suplementados comparativamente ao grupo controle, com vacas diagnosticadas com mastite

apresentando níveis reduzidos dessa enzima, todavia, a atividade dos leucócitos não foi influenciada pela suplementação.

A aplicação de 5 mL via parenteral da mesma solução contendo Cu, Mn, Se e Zn em aplicação única, a vacas com mastite subclínica proporcionou a redução na ocorrência de casos de mastite clínica crônica (vacas com três ou mais casos de mastite clínica após o início da avaliação) em vacas primíparas, com tendência de redução nos casos de forma geral ($P < 0,09$) e de cura da mastite subclínica (CCS abaixo de 200.000 x 10^3 células/mL) em vacas acima de três lactações ($P < 0,08$) (GANDA et al., 2016).

EFEITO NO DESEMPENHO REPRODUTIVO DE VACAS

Os efeitos dos microminerais sobre a reprodução têm sido descritos em diversos estudos, que sustentam o conceito de que estes apresentam papéis fundamentais em vias metabólicas e enzimáticas críticas para a concepção e desenvolvimento embrionário (HOSTETLER et al., 2003; WILDE, 2006).

Machado et al. (2013) observaram redução na ocorrência de natimortos (6,1 vs. 4,3%) e endometrites (34,2 vs. 28,6%) com três injeções de 5 mL de microminerais realizadas aos 230 e 260 dias de gestação e 35 dias pós-parto, todavia, não foram observados efeitos positivos sobre o intervalo entre o nascimento e a concepção entre os animais suplementados e controle.

A aplicação de uma mistura de microminerais 17 dias antes da realização de transferência de embriões (d0, início da sincronização do estro) proporcionou maiores taxas de concepção comparativamente ao grupo controle (43 e 30%, respectivamente) em novilhas cruzadas de cinco propriedades distintas recebendo suplementação mineral enriquecida com microminerais (SALES et al., 2011).

A suplementação via parenteral com o mesmo produto comercial na dose de 1 mL/90 kg de PC a vacas e novilhas Angus x Hereford, mantidas em pastagens nativas, com acesso a mistura mineral, 105 dias antes do parto e novamente 30 dias antecedendo a inseminação artificial em tempo fixo (IATF), proporcionou maiores taxas de prenhez (60,2%) comparativamente aos animais do grupo controle (51,2%) (MUNDELL et al., 2012).

A aplicação de uma dose única (6 mL/vaca) 30 dias antecedendo a IA em um protocolo de IATF proporcionou maiores concentrações plasmáticas de superóxido dismutase (SOD) 22 e 17 dias e glutatona peroxidase (GSH-Px) 26 dias antecedendo a

IA, não havendo efeito sobre as concentrações plasmáticas de haptoglobina, ceruloplasmina e progesterona, com tendência de aumento na taxa de prenhez em animais com baixo escore de condição corporal (ECC) (VEDOVATTO et al., 2019).

EFEITO DA APLICAÇÃO DE MICROMINERAIS INJETÁVEIS EM BEZERROS

A categoria de bezerros também é suscetível a uma grande variedade de fatores estressantes como vacinações, desmame e transporte, sendo importante que estes apresentem um status de microminerais adequado, garantindo sua rápida disponibilidade, de modo a manter o desempenho e função imune em níveis adequados durante esses períodos de maior demanda (RICHESON e KEGLEY, 2011).

A aplicação de 1 mL de microminerais (15, 10, 5 e 60 mg/mL de Cu, Mn, Se e Zn, respectivamente) ao nascimento e novamente com aproximadamente 100 e 200 dias de idade, em bezerros de corte, não proporcionou efeito sobre o GMD e peso corporal dos animais até o desmame (250 dias) (ARTHINGTON et al., 2014). Todavia, o status de microminerais foi aumentado, com animais do grupo suplementado apresentando níveis de Cu hepático em média 34% superiores até o desmame e níveis de selênio cerca de 5 vezes superiores aos 150 dias comparativamente aos animais do grupo controle.

Apesar de não haver diferença estatística no status de Se entre os grupos ao desmame, os animais do grupo controle apresentaram concentrações hepáticas de 0,49 mg/kg de MS, valor abaixo do nível considerado crítico para deficiências (0,61 mg/kg de MS), indicando que a suplementação pode ser benéfica visando evitar deficiências de Se em bezerros ao desmame (ARTHINGTON et al., 2014).

O fornecimento de níveis adequados desses elementos a animais jovens pode ser desafiador devido ao seu baixo consumo de matéria seca (CMS) e da possibilidade de interações negativas com outros elementos da dieta (MACHADO et al., 2013). A administração de microminerais via parenteral pode ser um método eficiente de garantir que estes animais recebam níveis adequados desses minerais durante esses períodos, adicionalmente a suplementação mineral via dieta, podendo acarretar em efeitos positivos sobre a saúde e desempenho desses animais.

Bezerros leiteiros recebendo duas injeções subcutâneas (15, 10, 5 e 60 mg/mL de Cu, Mn, Se e Zn, respectivamente) de 1 mL aos 3 e 30 dias de idade apresentaram incremento nas concentrações séricas de Se e Zn, maior atividade de neutrófilos e da enzima glutathione peroxidase 14 dias após o nascimento, retornando a concentrações

semelhantes às do grupo controle aos 35 dias, aproximadamente 42% de redução na ocorrência de casos de diarreia e 35% menos chance de apresentar pneumonia ou otite até o desmame com 50 dias, embora esses benefícios não tenham se refletido em maiores GMD ou mortalidade reduzida (TEIXEIRA et al., 2014).

Incrementos na resposta imune humoral em decorrência da aplicação de 7 mL de uma solução de microminerais (15, 10, 5 e 40 mg/mL de Cu, Mn, Se e Zn, respectivamente), foram observados em bezerros com idade entre 10 e 12 meses, mantidos em pastagens, simultaneamente a vacinação viral, com aumento na titulação de anticorpos (até 60 dias após a vacinação) e nas concentrações séricas de Cu, Se e Zn (após 14 dias) comparativamente ao grupo controle (ARTHINGTON e HAVENGA, 2012).

De forma semelhante, a aplicação de 1 mL/45 kg de PC da mesma solução em bezerros recém desmamados (7 meses) associados a vacinação viral proporcionou incrementos na resposta imune humoral associada a uma maior titulação de anticorpos, melhora no estado geral de saúde e aumentou a contagem de plaquetas até 21 dias após desafio com diarreia viral bovina (BVDV) realizado 5 dias após vacinação e aplicação dos tratamentos experimentais. As concentrações hepáticas de Cu e Se aumentaram significativamente nesse período nos animais tratados, não havendo efeito sobre as concentrações de Mn e Zn no fígado (BITTAR et al., 2020).

A aplicação em dose única no momento do desmame, em bezerros Nelore manejados em pastagens tropicais aumentou as concentrações plasmáticas de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase e glutathione peroxidase) 7 dias após aplicação, de eosinófilos 21 dias após e de leucócitos e linfócitos apenas 64 dias após a aplicação de MMI. A concentração de plaquetas foi aumentada 21 dias após o desmame, todavia, sem efeito sobre o desempenho dos animais suplementados. Foi observada uma redução na concentração de hemoglobina corpuscular média, podendo indicar possíveis implicações no metabolismo do ferro (VEDOVATTO et al., 2020).

Duas aplicações de 1 mL/45 kg de PC em bezerros leiteiros com 3,5 meses de idade associadas a vacinação e reforço (com 21 dias de separação) contra diversas doenças virais e bacterianas observaram elevados níveis de Se hepático comparativamente ao grupo controle 21 e 56 dias após a vacinação, com níveis mais elevados após 21 dias da aplicação de microminerais, os níveis de Cu, Mn e Zn reduziram em ambos os tratamentos após a vacinação comparativamente aos valores basais, contudo, mantiveram-se mais elevados nos animais suplementados com

microminerais até 56 dias após a vacinação. A administração de microminerais proporcionou também uma resposta imune mais rápida, com maior titulação de anticorpos (28 dias) e leucócitos (14 dias) nos animais suplementados (PALOMARES et al., 2016).

Os mesmos animais do estudo anterior foram submetidos a uma nova aplicação de microminerais (1 mL/45 kg de PC) aos 8 meses de idade, 14 dias antes de serem desafiados com um inóculo de BVDV. A suplementação proporcionou efeitos positivos sobre o escore da saúde geral dos animais (5 e 8 dias após o desafio) e concentração de plaquetas (11 a 18 dias após o desafio), todavia, não proporcionou alterações na concentração plasmática de leucócitos, linfócitos e titulação de anticorpos (BITTAR et al., 2018).

EFEITO NO GANHO DE PESO E CONSUMO DE ANIMAIS RECÉM CONFINADOS

Animais recém-chegados ao confinamento também podem apresentar dificuldade em atender suas exigências, dependendo do status prévio de microminerais, do nível de consumo individual no início do confinamento e dos fatores estressantes aos quais os animais são submetidos nesse período, por exemplo, vacinação, desmame, transporte, mudança de dieta, entre outros.

O fornecimento de uma suplementação com microminerais via injeções subcutâneas pode ser um método efetivo de compensar possíveis desequilíbrios nutricionais prévios desses nutrientes e o baixo consumo inicial dos animais, assegurando níveis adequados desses elementos a bovinos no início do período de confinamento, podendo produzir efeitos positivos sobre a saúde e desempenho desses animais (RICHESON e KEGLEY, 2011; ROBERTS et al., 2016).

Nesse sentido, a aplicação de 1 mL/45 kg de PC de uma solução contendo microminerais em bovinos cruzados (PC inicial de 275 kg) na chegada ao confinamento, não evidenciou efeitos significativos sobre o desempenho e eficiência alimentar (42 dias de avaliação), com incremento na titulação de anticorpos aos 14 dias, demonstrando uma possível melhora na resposta imune humoral dos animais, embora o número de animais tratados com antibióticos e os custos com os tratamentos tenham sido semelhantes entre os grupos experimentais (ROBERTS et al., 2016).

A aplicação de 5 mL da solução provocou uma redução de 0,220 kg/dia no GMD de bovinos no período inicial de confinamento (28 dias), contudo, no período subsequente (168 dias), foram observadas maiores eficiências alimentares nos animais suplementados, sem diferenças no peso de carcaça quente e características de carcaça entre os tratamentos experimentais ao final do período (CLARK et al., 2006).

A aplicação de 1 mL/45 kg de PC de duas soluções comerciais distintas (SM1 = 10, 20, 5 e 20; e SM2 = 16, 10, 5 e 48; mg/mL de Cu, Mn, Se e Zn, respectivamente a novilhas de corte (peso médio inicial de 199 kg) proporcionou, em ambas soluções, aumentos significativos no GMD, peso final, CMS e eficiência alimentar após um período de 55 dias de confinamento, associados a reduções na necessidade e nos custos de tratamentos com antibióticos (RICHESON e KEGLEY, 2011).

CONCLUSÕES

Esses estudos evidenciam os potenciais benefícios da suplementação injetável com microminerais em diferentes momentos do ciclo produtivo de bovinos, comumente associados a um maior estresse oxidativo e imunidade deprimida. Estudos avaliando sua utilização associada a fase de desmame de bovinos de corte mantidos em pastagens ainda são necessários para melhor entendimento das consequências, bem como dos momentos mais efetivos para a realização da suplementação.

REFERÊNCIAS

- ANDRIEU, S. Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health?. **The Veterinary Journal**, v. 176, p. 77-83, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.022>
- ARTHINGTON, J. D.; HAVENGA, L. J. Effect of injectable trace minerals on the humoral immune response to multivalent vaccine administration in beef calves. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 1966–1971, 2012. DOI: 10.2527/jas2011-4024
- ARTHINGTON, J. D.; MORIEL, P.; MARTINS, P. G. M. A.; LAMB, G. C.; HAVENGA, L. J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral

- 931 status of pre- and postweaned beef calves. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2630-
 932 2640, 2014. DOI: 10.2527/jas2013-7164
- 933
- 934 BATES, A.; WELLS, M.; LAVEN, R.; FERRIMAN, L.; HEISER, A.; FITZPATRICK, C.
 935 Effect of an injectable trace mineral supplement on the immune response of dairy calves.
 936 **Research in Veterinary Science**, v. 130, p. 1-10, 2020.
 937 <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.02.007>
- 938
- 939 BERNABUCCI, U.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; NARDONE, A. Influence of body
 940 condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in
 941 periparturient dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 88, p. 2017-2026, 2005.
 942 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72878-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72878-2)
- 943
- 944 BERNABUCCI, U.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; NARDONE, A. Markers of oxidative
 945 status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. **Journal of**
 946 **Dairy Science**, v. 85, p. 2173-2179, 2002. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74296-3)
 947 [0302\(02\)74296-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74296-3)
- 948
- 949 BERNHARD, B. C.; BURDICK, N. C. ; ROUNDS, W. ; RATHMANN, R. J. ; CARROLL,
 950 J. A. ; FINCK, D. N.; JENNINGS, M. A.; YOUNG, T. R. ; JOHNSON, B. J. Chromium
 951 supplementation alters the performance and health of feedlot cattle during the receiving
 952 period and enhances their metabolic response to a lipopolysaccharide challenge. **Journal**
 953 **of Animal Science**, v. 90, p. 3879-3888, 2012. DOI: 10.2527/jas.2011-4981
- 954
- 955 BISHEHSARI, S.; TABATABAEI, M. M.; ALIARABI, H.; ALIPOUR, D.; ZAMANI, P.;
 956 AHMADI, A. Effect of dietary cobalt supplementation on plasma and rumen metabolites
 957 in Mehraban lambs. **Small Ruminant Research**, v. 90, p. 170-173, 2010.
 958 <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.02.010>
- 959
- 960 BITTAR, J. H. J.; Hoyos-Jaramillo, A.; Hurley, D. J.; Woolums, A. R.; Havenga, L. J.
 961 Lourenço, J..M.; Barnett, G.; Gomes, V.; Saliki, J. T.; Harmon, D. D.; Palomares, R. A.
 962 Effects of injectable trace minerals administered concurrently with a modified live virus
 963 vaccine on long-term protection against bovine viral diarrhea virus acute infection in

- 964 dairy calves. **Research in Veterinary Science**, v. 119, p. 250-258, 2018.
 965 <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.07.003>
 966
- 967 BITTAR, J. H. J.; PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; HOYOS-JARAMILLO, A.;
 968 RODRIGUEZ, A.; STOSKUTE, A.; HAMRICK, B.; NORTON, N.; ADKINS, M.; SALIKI,
 969 J. T.; SANCHEZ, S.; LAUBER, K. Immune response and onset of protection from Bovine
 970 viral diarrhea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination concurrent
 971 with injectable trace minerals administration in newly received beef calves. **Veterinary**
 972 **Immunology and Immunopathology**, v. 225, 2020.
 973 <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2020.110055>
 974
- 975 CHAUHAN, S. S.; CELI, P.; PONNAMPALAM, E. N.; LEURY, B. J.; LIU, F.; DUNSHEA,
 976 F. R. Antioxidant dynamics in the live animal and implications for ruminant health and
 977 product (meat/milk) quality: role of vitamin E and selenium. **Animal Production**
 978 **Science**, v. 54, p. 1525-1536, 2014. DOI: 10.1071/AN14334
 979
- 980 CLARK, J. H.; OLSON, K. C.; SCHMIDT, T. B.; LARSON, R. L.; ELLERSIECK, M. R.;
 981 ALKIRE, D. O.; MEYER, D. L.; RENTFROW, G. K.; CARR, C. C. Effects of respiratory
 982 disease risk and a bolus injection of trace minerals at receiving on growing and finishing
 983 performance by beef steers. **The Professional Animal Scientist**, v. 22, p. 1-7, 2006.
 984 [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31100-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31100-1)
 985
- 986 GANDA, E. K.; BISINOTTO, R. S.; VASQUEZ, A. K.; TEIXEIRA, A. G. V.; MACHADO,
 987 V. S.; FODITSCH, C.; BICALHO, M.; LIMA, F. S.; STEPHENS, L.; GOMES, M. S.; DIAS,
 988 J. M.; BICALHO, R. C. Effects of injectable trace mineral supplementation in lactating
 989 dairy cows with elevated somatic cell counts. **Journal of Dairy Science**, v. 99, p. 1-11,
 990 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10989>
 991
- 992 HEFNAWY, A. E. G.; TÓRTORA-PÉREZ, J. L. The importance of selenium and the
 993 effects of its deficiency in animal health. **Small Ruminant Research**, v. 89, p. 185-192,
 994 2010. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.042>
 995

- 996 HOSNEDLOVA, B.; TRAVNICEK, J.; SOCH, M. Current view of the significance of zinc
 997 for ruminants: a review. **Agricultura Tropica Et Subtropica**, v. 40, n. 2, p. 57-64, 2007.
 998 DOI:10.11648/j.ajist.20170101.12
 999
- 1000 HOSTETLER, C. E.; KINCAID, R. L.; MIRANDO M. A. The role of essential trace
 1001 elements in embryonic and fetal development in livestock. **The Veterinary Journal**, v.
 1002 166, p. 125-139, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(02\)00310-6](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(02)00310-6)
 1003
- 1004 KIM, B.E. NEVIT, T.; THIELE, D.J. Mechanisms for copper acquisition, distribution and
 1005 regulation. **Nature Chemical Biology**, v. 4, p. 176-185, 2008.
 1006 <https://doi.org/10.1038/nchembio.72>
 1007
- 1008 LÓPEZ-ALONSO, M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. **ISRN**
 1009 **Veterinary Science**, 2012. DOI:10.5402/2012/704825
 1010
- 1011 MACHADO, V. S.; BICALHO, M. L. S.; PEREIRA, R. V.; CAIXETA, L. S.; KNAUER, W.
 1012 A.; OIKONOMOU, G.; GILBERT, R. O.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace
 1013 mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health
 1014 and, production of lactating Holstein cows. **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 451-456,
 1015 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022>
 1016
- 1017 MACHADO, V.S.; OIKONOMOU, G.; LIMA, S. F.; BICALHO, M. L. S.; KACAR, C.;
 1018 FODITSCH, C.; FELIPPE, M. J.; GILBERT, R. O.; BICALHO, R. C. The effect of injectable
 1019 trace minerals (selenium, copper, zinc, and manganese) on peripheral blood leukocyte
 1020 activity and serum superoxide dismutase activity of lactating Holstein cows. **The**
 1021 **Veterinary Journal**, v. 200, p. 299-304, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.02.026>
 1022
- 1023 MUNDELL, L. R.; JAEGER, J. R.; WAGGONER, J. W.; STEVENSON, J. S.; GRIEGER, D.
 1024 M.; PACHECO, L. A.; BOLTE, J. W.; AUBEL, N. A.; ECKERLE, G. J.; MACEK, M. J.;
 1025 ENSLEY, S. M.; HAVENGA, L. J.; OLSON, K. C. Effects of prepartum and postpartum
 1026 bolus injections of trace minerals on performance of beef cows and calves grazing native
 1027 range. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, p. 82-88, 2012.
 1028 [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30318-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30318-1)
 1029

- 1030 NOVOTNY, J. A. Molybdenum nutriture in humans. **Journal of Evidence-Based**
 1031 **Complementary & Alternative Medicine**, v. 16, p. 164-168, 2011.
 1032 <https://doi.org/10.1177/2156587211406732>
 1033
- 1034 NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient
 1035 Requirements of Beef Cattle. 8th revised edition. Washington, DC: National Academy
 1036 Press, 2016.
 1037
- 1038 OVERTON, T. R.; YASUI, T. Practical applications of trace minerals for dairy cattle.
 1039 **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 416-426, 2014. DOI: 10.2527/jas.2013-7145
 1040
- 1041 PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; BITTAR, J. H. J.; SALIKI, J. T.; WOOLUMS, A. R.;
 1042 MOLIERE, F.; HAVENGA, L. J.; NORTON, N. A.; CLIFTON, S. J.; SIGMUND, A. B.;
 1043 BARBER, C. E.; BERGER, M. L.; CLARK, M. J. Effects of injectable trace minerals on
 1044 humoral and cell-mediated immune responses to Bovine viral diarrhea virus, Bovine
 1045 herpes virus 1 and Bovine respiratory syncytial virus following administration of a
 1046 modified-live virus vaccine in dairy calves. **Veterinary Immunology and**
 1047 **Immunopathology**, v. 178, p. 88-98, 2016.
 1048 <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2016.07.003>
 1049
- 1050 PAUL, S. S.; DEY, A. Nutrition in health and immune function of ruminants. **Indian**
 1051 **Journal of Animal Sciences**, v. 85, n. 2, p. 103-112, 2015.
 1052
- 1053 POGGE, D. J.; RICHTER, E. L.; DREWNOSKI, M. E.; HANSEN, S. L. Mineral
 1054 concentrations of plasma and liver after injection with a trace mineral complex differ
 1055 among Angus and Simmental cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 2692-2698,
 1056 2012. DOI:10.2527/jas2012-4482
 1057
- 1058 RANCHES, J.; DE OLIVEIRA, R. A.; VEDOVATTO, M.; PALMER, E. A.; MORIEL, P.;
 1059 SILVA, L. D.; ZYLBERLICHT, G.; DROUILLARD, J. S.; ARTHINGTON, J. D. Low
 1060 moisture, cooked molasses blocks: A limited intake method for supplementing trace
 1061 minerals to pre-weaned calves. **Animal Feed Science and Technology**, v. 273, p. 1-12,
 1062 2021. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114793>
 1063

- 1064 RICHESON, J. T.; KEGLEY, E. B. Effect of Supplemental trace minerals from injection on
 1065 health and performance of highly stressed, newly received beef heifers. **The**
 1066 **Professional Animal Scientist**, v. 27, p. 461–466, 2011. [https://doi.org/10.15232/S1080-](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30519-2)
 1067 [7446\(15\)30519-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30519-2)
 1068
- 1069 ROBERTS, S. L.; MAY, N. D.; BRAUER, C. L.; GENTRY, W. W.; WEISS, C. P.; JENNINGS,
 1070 J. S.; RICHESON, J. T. Effect of injectable trace mineral administration on health,
 1071 performance, and vaccine response of newly received feedlot cattle. **The Professional**
 1072 **Animal Scientist**, v. 32, p. 842-848, 2016. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01543>
 1073
- 1074 ROCHE, J. R.; FRIGGENS, N. C.; KAY, J. K.; FISHER M. W.; STAFFORD, K. J.; BERRY,
 1075 D. P. Invited review: Body condition score and its association with dairy cow
 1076 productivity, health, and welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 5769–5801, 2009.
 1077 <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2431>
 1078
- 1079 ROSA, D. E. & MATTIOLI, G. A. Metabolismo y deficiencia de Cu en los bovinos.
 1080 **Analecta veterinária**, v. 22, p.7-16, 2002.
 1081
- 1082 SALES, J. N. S.; PEREIRA, R. V. V.; BICALHO, R. C.; BARUSELLI, P. S. Effect of
 1083 injectable copper, selenium, zinc and manganese on the pregnancy rate of crossbred
 1084 heifers (Bos indicus×Bos taurus) synchronized for timed embryo transfer. **Livestock**
 1085 **Science**, v. 142, p. 59-62, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.014>
 1086
- 1087 SHARMA, N.; SINGH, N. K.; SINGH, O. P.; PANDEY, V.; VERMA, P. K. Oxidative
 1088 Stress and Antioxidant Status during Transition Period in Dairy Cows. **Asian-**
 1089 **Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 24, n. 4, p. 479-484, 2011. DOI:
 1090 [10.5713/ajas.2011.10220](https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10220)
 1091
- 1092 SILVA, N. C. D.; MARTINS, T. L. T.; BORGES, I. Efeito dos microminerais na
 1093 alimentação de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 27, p. 75-98, 2017.
 1094
- 1095 SINGH, A.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; ROY, D.; KUSHWAHA, R.; VASWANI, S.;
 1096 KUMAR, A. Effect of nickel supplementation on liver and kidney function test and
 1097 protein metabolism in growing cattle. **Proceedings of the National Academy of**

- 1098 **Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 90, 2019. DOI: 10.1007/s40011-019-
1099 01087-9
1100
- 1101 SMITH, O. B.; AKINBAMIJO, O. O. Micronutrients and reproduction in farm animals.
1102 **Animal Reproduction Science**, v. 60-61, p. 549-560, 2000.
1103 [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00114-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00114-7)
1104
- 1105 SORDILLO, L. M.; AITKEN, S. L. Impact of oxidative stress on the health and immune
1106 function of dairy cattle. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 128, p. 104-
1107 109, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2008.10.305>
1108
- 1109 SORG, O. Oxidative stress: a theoretical model or a biological reality?. **Biologies**, v. 327,
1110 p. 649-662, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2004.05.007>
1111
- 1112 SPEARS, J. W. Micronutrients and immune function in cattle. **Proceedings of the**
1113 **Nutrition Society**, v. 59, p. 587-594, 2000. <https://doi.org/10.1017/S0029665100000835>
1114
- 1115 SPEARS, J. W. Trace mineral bioavailability in ruminants. **Journal of nutrition**, v. 133,
1116 p. 1506-1509, 2003. DOI: 10.1093/jn/133.5.1506S
1117
- 1118 SPEARS, J. W.; LLOYD, K. E.; KRAFKA, K. Chromium concentrations in ruminant feed
1119 ingredients. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 3584-3590, 2017.
1120 <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12153>
1121
- 1122 SPEARS, J. W.; WEISS, W. P. Role of antioxidants and trace elements in health and
1123 immunity of transition dairy cows. **The Veterinary Journal**, v. 176, p. 70-76, 2008.
1124 <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.015>
1125
- 1126 SPEARS, J. W.; WEISS, W. P. Invited review: mineral and vitamin nutrition in ruminants.
1127 **The Professional Animal Scientist**, v. 30, p. 180-191, 2014.
1128 [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30103-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30103-0)
1129
- 1130 SPEARS, J. W.; WHISNANT, C. S.; HUNTINGTON, G. B.; LLOYD, K. E.; FRY, R. S.;
1131 KRAFKA, K.; LAMPTEY, A.; HYDA, J. Chromium propionate enhances insulin

- 1132 sensitivity .in growing cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 2037-2045, 2012.
 1133 <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4845>
 1134
- 1135 SUTTLE, N. F. **The mineral nutrition of livestock**. 4rd edition. CABI, 2010. 579 p.
 1136
- 1137 TEIXEIRA, A. G. V.; LIMA, F. S.; BICALHO, M. L. S.; KUSSLER, A.; LIMA, S. F.;
 1138 FELIPPE, M. J.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace mineral supplement
 1139 containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of
 1140 dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1-11, 2014.
 1141 <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7625>
 1142
- 1143 TIFFANY, M. E.; SPEARS, J. W. Differential responses to dietary cobalt in finishing steers
 1144 fed corn- versus barley-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 2580-2589, 2005.
 1145 <https://doi.org/10.2527/2005.83112580x>
 1146
- 1147 VAN RAVENSWAAY, R. O.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Effects of time and
 1148 dietary iron on tissue iron concentration as na estimate of relative bioavailability of
 1149 supplemental iron sources for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90,
 1150 p. 185-198, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00208-5)
 1151
- 1152 VARGAS-RODRIGUEZ, C. F.; YUAN, K.; TITGEMEYER, E. C.; MAMEDOVA, L. K.;
 1153 GRISWOLD, K. E.; BRADFORD, B. J. Effects of supplemental chromium propionate and
 1154 rumen-protected amino acids on productivity, diet digestibility, and energy balance of
 1155 peak-lactation dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 3815-3821, 2014.
 1156 <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7767>
 1157
- 1158 VEDOVATTO, M. V.; MORIEL, P.; COOKE, R. F.; COSTA, D. S.; FARIA, F. J. C.;
 1159 CORTADA NETO, H. M.; PEREIRA, C. S.; BENTO, A. L. L.; ALMEIDA, R. G.; SANTOS,
 1160 S. A.; FRANCO, G. L. Effects of a single trace mineral injection on body parameters,
 1161 ovarian structures, pregnancy rate and components of the innate immune system of
 1162 grazing Nellore cows synchronized to a fixed-time AI protocol. **Livestock Science**, v.
 1163 225, p. 123-128, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.05.011>
 1164

- VEDOVATTO, M.; PEREIRA, C. S.; CORTADA NETO, I. M.; MORIEL, P.; MORAIS, M. G.; FRANCO, G. L. Effect of a trace mineral injection at weaning on growth, antioxidant enzymes activity and immune system in Nelore Calves. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 881-886, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02056-0>
- WANG, R. L.; KONG, X. H.; ZHANG, Y. Z.; ZHU, X. P.; NARENBATU; JIA, Z. H. Influence of dietary cobalt on performance, nutrient digestibility and plasma metabolites in lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 135, p. 346-352, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.011>
- WILDE, D. Influence of macro and micro minerals in the periparturient period on fertility in dairy cattle. **Animal Reproduction Science**, v. 96, p. 240-249, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.08.004>
- YASUI, T.; EHRHARDT, R. M.; BOWMAN, G. R.; VAZQUEZ-ANON, M.; RICHARDS, J. D.; ATWELL, C. A.; WINEMAN, T. D.; OVERTON, T. R. Effects of trace mineral amount and source on aspects of oxidative status and immune function in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 92, 2009. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002525>
- YATOO, M. I.; SAXENA, A.; DEEPA, P. M.; HABEAB, B. P.; DEVI, S.; JATAV, R. S.; DIMRI, U. Role of trace elements in animals: a review. **Veterinary World**, v. 6, n. 12, p. 963-967, 2013. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2013.963-967>

1186 Tabela 1. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) sobre a saúde e o desempenho
1187 reprodutivo de vacas

AUTORES	TRATAMENTOS	DELINEAMENTO	RESULTADOS
Sales et al., 2011	5 mL de MMI	1 APLICAÇÃO: 17 dias pré TE	Maior taxa de concepção (43% vs. 30%)
Mundell et al., 2012	1 mL de MMI/90 kg de PC	2 APLICAÇÕES: 105 dias pré-parto 30 dias pré IATF	Maior taxa de concepção (60,2% vs. 51,2%)
Machado et al., 2013	5 mL de MMI	3 APLICAÇÕES: 230 e 260 dias de gestação 35 dias pós-parto	Redução na CCS, na incidência de mastite subclínica e na ocorrência de mastite clínica (40%) Redução na ocorrência de natimortos (6,1% vs. 4,3%) e de endometrites (34,2% vs. 28,6%) Sem efeito na produção de leite e na redução do período de serviço
Machado et al., 2014	5 mL de MMI	3 APLICAÇÕES: 230 e 260 dias de gestação 35 dias pós-parto	Maior atividade da SOD Sem efeito na atividade dos leucócitos
Ganda et al., 2016	5 mL de MMI	1 APLICAÇÃO: Diagnóstico de mastite subclínica	Redução nos casos de mastite clínica crônica Tendência de redução de mastite clínica e de cura da mastite subclínica
Vedovatto et al., 2019	6 mL de MMI	1 APLICAÇÃO: 30 dias pré IATF	Sem efeito na haptoglobina e ceruloplasmina, na taxa de prenhez e progesterona Maior concentração de SOD 22 e 17 dias pré IATF Aumento da GSH-Px 26 dias pré IATF

1188 ¹MMI, microminerais injetáveis, solução comercial Multimin 90 (Composição: 60 mg de Zn/mL,
1189 10 mg de Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 15 mg de Cu/mL (Multimin 90, Multimin, Fort Collins, CO,
1190 USA)).

1191 ²CCS, contagem de células somáticas; IATF, inseminação artificial em tempo fixo; PC, peso
1192 corporal; GSH-Px, glutathione peroxidase; SOD, superóxido dismutase.

1193 Tabela 2: Efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) sobre a saúde e o desempenho
 1194 de bovinos jovens

AUTORES	TRATAMENTO	DELINEAMENTO	RESULTADOS
Arthington e Havenga (2012)	7 mL de MMI	1 APLICAÇÃO: 10 a 12 meses de idade simultaneamente a vacinação viral	Aumento na concentração sérica de Se, Cu e Zn 14 dias após aplicação Aumento na titulação de anticorpos 60 dias após aplicação
Arthington et al., 2014	1 mL de MMI	3 APLICAÇÕES: Nascimento, 100 e 200 dias de idade	Cobre hepático 34% superior no desmame e Selênio 5 vezes superior aos 150 dias de idade Sem efeito sobre o GMD e PC até o desmame (250 dias)
Teixeira et al., 2014	1 mL de MMI	2 APLICAÇÕES: 3 e 30 dias de idade	Aumento na concentração sérica de Se e Zn, e na atividade de neutrófilos e GSH-Px aos 14 dias de idade Redução na ocorrência de diarreia (42%) e de pneumonia ou otite (35%), sem efeito no GMD e mortalidade avaliados no desmame (50 dias)
Palomares et al., 2016	1 mL de MMI /45kg de PC	2 APLICAÇÕES: Bezerro leiteiro de 3 a 5 meses de idade simultaneamente as vacinas Reforço após 21 dias	Resposta imune mais rápida Maior titulação de anticorpos aos 28 dias, maior concentração de leucócitos aos 14 dias e de Se hepático dos 21 aos 56 dias
Bittar et al., 2018	1 mL de MMI /45kg de PC	1 APLICAÇÃO: Bezerro leiteiro (8 meses) 14 dias pré desafio imunológico (BVDV)	Melhor escore de saúde geral (5 a 8 dias após desafio) Maior concentração de plaquetas (11 a 18 dias após desafio) Sem efeito sobre a concentração de leucócitos, linfócitos e titulação de anticorpos
Bittar et al., 2020	1 mL de MMI /45 kg de PC	1 aplicação Bezerros recém desmamados simultaneamente a vacinação viral Desafio com BVDV 5 após vacina	Maior titulação de anticorpos Melhor escore de saúde geral Maior contagem de plaquetas 21 dias após desafio

1195 ¹MMI, microminerais injetáveis, solução comercial Multimin 90 (Composição: 60 mg de Zn/mL, 10 mg de
 1196 Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 15 mg de Cu/mL (Multimin 90, Multimin, Fort Collins, CO, USA)).

1197 ²BVDV, diarreia viral bovina; GMD, ganho médio diário; PC, peso corporal; GSH-Px, glutathione peroxidase

1198 **CAPÍTULO 2 – MICROMINERAIS INJETÁVEIS PARA BEZERROS DE**
1199 **CORTE NO PERÍODO PRÉ-DESMAME SOBRE AS VARIÁVEIS**
1200 **HEMATOLÓGICA**

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico *Livestock Science* excetuando-se o idioma.

1201

1202 ***Running Head: microminerais injetáveis e variáveis hematológicas***

1203

1204 **Microminerais injetáveis para bezerros de corte no período pré-desmame sobre as**1205 **variáveis hematológicas**

1206

1207 Anderson Luiz de Lucca Bento^a, Gumercindo Lorian Franco^{a*}

1208

1209 ^aFaculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso

1210 do Sul, Av. Senador Filinto Muller, nº. 2443, Campo Grande/MS, Brazil, 79070-900.

1211 *Autor para correspondência: gumercindo.franco@ufms.br

1212 **Resumo**

1213

1214 Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) 14 dias
1215 antecedendo ao desmame sobre as variáveis hematológicas e sistema imunológico de
1216 bezerros Nelore mantidos em pastagens de clima tropical. Foram utilizados 64 bezerros
1217 em fase de desmame subdivididos em dois lotes experimentais em função da época de
1218 nascimento, sendo: lote 1 - 18 machos e 14 fêmeas com média de idade ao desmame de
1219 $208 \pm 13,3$ dias, lote 2 - 14 machos e 18 fêmeas com média de idade ao desmame de
1220 $207 \pm 21,4$ dias. As fêmeas apresentaram PC médio inicial de 163 ± 19 kg e os machos
1221 181 ± 23 kg. O estudo teve duração de 70 dias por lote, compreendendo o período de 14
1222 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). Os animais foram
1223 estratificados pelo PC e sexo em dois tratamentos: SALINA, injeção de solução salina (1
1224 mL/45 kg de PC) e MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC) contendo Cu, Mn,
1225 Se e Zn na composição. Os MMI apresentavam 15 mg de Cu/mL, 10 mg de Mn/mL, 5
1226 mg de Se/mL e 60 mg de Zn/mL. Os animais foram manejados sempre em lote único e
1227 alternados em diferentes piquetes de *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv.
1228 Marandu, com acesso a água e suplementação mineral. Foi observada uma tendência (P
1229 $= 0,0836$) de maior concentração de hemácias no momento do desmame em animais que
1230 receberam MMI. Foi observada redução do volume corpuscular médio (VCM; $P =$
1231 $0,0208$) nos animais tratados com MMI comparativamente ao SALINA, não havendo
1232 interação entre os tratamentos e os dias de avaliação. Houve uma tendência ($P = 0,0884$)
1233 de redução da hemoglobina corpuscular média (HCM) quando os animais foram tratados
1234 com MMI. Não foi observado efeito da aplicação de MMI ($P > 0,05$) sobre a amplitude
1235 de distribuição das hemácias medido como coeficiente de variação (RDW-CV),
1236 hematócrito, hemoglobina e concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM).

1237 Não houve efeito de tratamento ou interação tratamento x dia para as variáveis avaliadas
1238 no leucograma ($P > 0,05$), havendo efeito de dia ($P < 0,05$) para estas variáveis. A
1239 aplicação de MMI 14 dias antecedendo ao desmame reduziu o VCM e o HCM, aumentou
1240 a concentração de plaquetas pré-desmame e de hemácias no dia do desmame, com menor
1241 concentração de plaquetas 14 dias após o desmame, não apresentando efeitos sobre os
1242 componentes do sistema imunológico de bezerros de corte, mantidos em pastagens
1243 tropicais e com acesso a suplementação mineral.

1244 **Palavras-chave:** bovinos; função imune; hemograma; leucócitos

1245 **1. Introdução**

1246 Os microminerais são necessários em uma ampla gama de processos biológicos,
1247 estando presentes em uma série de enzimas, cofatores e proteínas reativas, que por sua
1248 vez atuam em processos relacionados à obtenção de energia, síntese de DNA e RNA,
1249 síntese de hormônios, função antioxidante das células, entre outros, estando assim,
1250 diretamente associados ao desempenho, sistema imunológico e saúde dos animais (Suttle,
1251 2010; NASEM, 2016).

1252 Deficiências subclínicas de microminerais podem ocorrer de forma frequente,
1253 gerando perdas difíceis de quantificar, devido a não levarem a ocorrência de sintomas
1254 específicos (Suttle, 2010).

1255 O fornecimento de níveis adicionais e melhoria do status de microminerais em
1256 ruminantes têm demonstrado efeitos positivos sobre a saúde e produção animal,
1257 evidenciando reduções de morbidade, diminuição de custos com tratamentos e melhoria
1258 no desempenho produtivo (Bittar et al., 2020; Machado et al., 2013; Teixeira et al., 2014;
1259 Yatoo et al., 2013).

1260 O desmame é um momento de elevado estresse e demanda metabólica,
1261 especialmente quando realizado de forma abrupta, que pode proporcionar alterações
1262 comportamentais e na função imune (Lynch et al., 2012). A aplicação de MMI associada
1263 a esse período apresenta potencial para proporcionar a melhoria do status imunológico
1264 dos bezerros, podendo se refletir em melhoria na saúde e desempenho dos animais
1265 (Teixeira et al., 2014).

1266 A aplicação de MMI em bezerros Nelore mantidos em pastagens tropicais de baixa
1267 qualidade no momento do desmame proporcionou incrementos na produção de enzimas
1268 antioxidantes, na concentração de plaquetas e leucócitos, todavia, não proporcionou
1269 alterações no desempenho dos animais suplementados (Vedovatto et al., 2020).

Nossa hipótese é que a aplicação de forma antecipada ao desmame poderia permitir um período para ajustes metabólicos, minimizar os efeitos de uma possível resposta inflamatória e possibilitar um melhor status geral de saúde e imunológico nesse momento.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de MMI 14 dias antecedendo ao desmame sobre as variáveis hematológicas, produção de enzimas antioxidantes e sistema imunológico de bezerros Nelore manejados em pastagens tropicais.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido entre os dias 24 de abril e 21 de agosto de 2017 na Fazenda Escola da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia pertencente à UFMS, localizada no município de Terenos, Mato Grosso do Sul, Brasil, nas coordenadas 20°26'50,8"S, 54°50'21,5"O, sendo aprovado pela Comissão de ética no uso de animais (CEUA) da UFMS sob o protocolo nº 754/2016, seguindo os padrões éticos demandados pela pesquisa com animais.

2.1 Animais, tratamentos e coletas de amostras

Foram utilizados 64 bezerros Nelore em fase de desmame, subdivididos em dois grupos experimentais, separados pela época de nascimento dos animais. No grupo 1 foram utilizados 18 machos e 14 fêmeas, nascidos entre 14 de setembro e 27 de outubro de 2017 e média de idade ao desmame de $208 \pm 13,3$ dias. No grupo 2 foram utilizados 14 machos e 18 fêmeas nascidos entre 30 de outubro de 2017 e 11 de janeiro de 2018 e média de idade ao desmame de $207 \pm 21,4$ dias.

Cada grupo apresentou um período de avaliação de 70 dias, compreendendo o período de 14 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). As

1295 fêmeas apresentaram PC médio inicial de 166 ± 21 kg (grupo 1) e 160 ± 19 kg (grupo 2) e
1296 os machos 183 ± 16 kg (grupo 1) e 172 ± 23 kg (grupo 2). Cada animal possuía uma
1297 identificação individual por meio de brinco auricular.

1298 No início de cada período experimental (d-14), os animais foram separados em
1299 função do sexo e PC em dois tratamentos aplicados via subcutânea na tábua do pescoço
1300 do lado direito: microminerais injetáveis (MMI; 1 mL/45kg de PC) e injeção de solução
1301 salina (SALINA; 0.9% NaCl; 1 mL/45 kg de PC). A solução mineral injetável possuía 15
1302 mg de Cu/mL, 10 mg de Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 60 mg de Zn/mL (Multimin 90,
1303 Multimin, Fort Collins, CO, USA).

1304 Após o procedimento inicial, os animais foram mantidos em um piquete único
1305 formado com capim-marandú [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich) R. D. Webster,
1306 cv. Marandu] com suas mães, e tiveram livre acesso a água e suplementos minerais até o
1307 momento do desmame (d0). No momento do desmame, os animais passaram pelos
1308 procedimentos normais de manejo da propriedade, sendo vacinados contra febre aftosa
1309 (2 mL; Bovicel[®], Valée S.A.) e clostridioses (5 mL; Excell 10[®], Vencofarma), receberam
1310 Ivermectina 1% (Ivomec[®], Merial) e foram identificados numericamente na perna direita
1311 por meio de ferro candente. Após o procedimento, estes foram separados de suas mães e
1312 direcionados a outro piquete, sendo manejados em lote único até o final do experimento.

1313 Após o desmame, os animais foram alternados em diferentes piquetes de *Urochloa*
1314 *decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com acesso a água e suplementação
1315 mineral, sendo a qualidade das forrageiras avaliada através de colheitas manuais,
1316 simulando o pastejo, em quatro momentos (d-14, d0, d28 e d56) para cada bloco e, na
1317 sequência, foram secas em estufa de ventilação a 55°C por 72 horas e moídas em peneira
1318 de 1 mm, para posterior análise de sua composição química.

1319 Foram feitas colheitas de sangue na veia jugular de todos os animais nos dias -14, -

7, 0 e 14 em tubos contendo K₂EDTA (4 mL), que foram transportados em caixa térmica com gelo e submetidos a análises hematológicas no mesmo dia em equipamento automatizado (pocH-100iV DIFF Sysmex®).

2.2 Análises laboratoriais

A avaliação da composição química da forrageira foi realizada segundo as metodologias do AOAC (2000) para determinação dos teores de matéria seca (MS; método 930,15), proteína bruta (PB; método 976,05), extrato etéreo (EE; método 920,39) e matéria mineral (MM; método 942,05), e seguindo as metodologias de Van Soest et al. (1991) para determinação dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA).

Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram estimados de acordo com o NRC (2001) como: $CNF (\%) = 100 - (\% FDN + \% PB + \% EE + \% MM)$. O teor de nutrientes digestíveis totais foi estimado com base nos teores de FDN e PB das amostras de acordo com a equação $NDT = 91,6086 - 0,669233 \times FDN + 0,437932 \times PB$, (Cappelle et al., 2001). A composição bromatológica das pastagens é demonstrada na Tabela 1.

As amostras completas de sangue foram analisadas com a realização do hemograma completo em equipamento automatizado (pocH-100iV DIFF Sysmex®).

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram analisados considerando os efeitos de tratamento, lote e sexo, por meio do procedimento MIXED do software estatístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA, versão 9,4) com a aproximação Satterthwaite para determinar os graus de liberdade do denominador para efeitos fixos.

Os modelos estatísticos para as variáveis hematológicas continham os efeitos fixos de tratamento, dia e a interação resultante destes efeitos, e animal (tratamento), sexo e lote como variáveis aleatórias. Estas variáveis foram analisadas como medidas repetidas no tempo, usando dia como termo específico e como sujeito animal (tratamento). Para estas, os resultados do d-14 (início do período experimental) foram incluídos como covariáveis em cada análise. Foi escolhida a estrutura de covariância que melhor se ajustou aos dados de cada variável, tomando como base o menor critério de informação de Akaike.

A função PDIFF foi utilizada quando detectada significância no teste-F e todos os resultados são reportados como LSMEANS seguidos por erro padrão da média (EPM). A significância foi definida quando $P \leq 0,05$. Foram consideradas tendências valores com $P > 0,05$ e $\leq 0,10$.

3.0 Resultados

Foi observado efeito de dia para todas as variáveis hematológicas avaliadas no eritrograma ($P \leq 0,05$; Tabela 2). A concentração de hemácias se manteve estável do início do estudo até o momento do desmame, chegando a níveis máximos 14 dias após o desmame ($P < 0,0001$). Foi observada uma tendência ($P = 0,0836$) de maior concentração de hemácias no momento do desmame em animais que receberam a aplicação de MMI 14 dias antes. Foi observada redução do volume corpuscular médio (VCM; $P = 0,0208$) nos animais tratados com MMI comparativamente ao SALINA, não havendo interação entre os tratamentos e os dias de avaliação.

Embora os tratamentos experimentais não tenham influenciado a concentração de hemoglobina ($P = 0,5235$), houve uma tendência ($P = 0,0884$) de redução da hemoglobina corpuscular média (HCM) quando os animais foram tratados com MMI (Tabela 2).

Não houve efeito de tratamento ($P = 0,4952$) para a concentração de plaquetas, todavia, foi observada interação ($P = 0,0004$) entre os tratamentos e os dias após a aplicação sobre essa variável, onde, os níveis foram aumentados sete dias após a aplicação dos tratamentos no grupo MMI, retornando a níveis semelhantes ao SALINA no momento do desmame e assumindo valores inferiores 14 dias após o desmame (Tabela 2).

Para as variáveis amplitude de distribuição das hemácias medido como coeficiente de variação (RDW-CV), hematócrito, hemoglobina e concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM), não foram observados efeitos dos tratamentos e interação tratamento x dia ($P > 0,05$).

Não houve efeito de tratamento ou interação tratamento x dia para as variáveis avaliadas no leucograma ($P > 0,05$; Tabela 3). As concentrações de leucócitos, linfócitos e eosinófilos variaram ao longo do período experimental, apresentando redução de suas concentrações 7 dias pré-desmame, elevação no dia do desmame e nova redução 14 dias pós-desmame ($P < 0,0001$). A concentração de monócitos permaneceu baixa durante todo o período de avaliação, com exceção do dia do desmame (d0), quando foi observada uma elevação nos níveis de monócitos ($P < 0,0001$) em ambos os tratamentos experimentais. Não foi observado efeito de tratamento, dia e tratamento x dia ($P > 0,05$) para a concentração de neutrófilos no presente estudo.

4.0 Discussão

Houve uma tendência de aumento ($P = 0,0836$) na concentração de hemácias no momento do desmame em bezerros que receberam MMI 14 dias antecedendo ao desmame. Ao suplementar novilhas com hipocupremia, Sharma et al. (2005) observaram um aumento significativo na concentração de hemácias comparativamente aos animais

1394 recebendo mistura mineral sem a inclusão de sulfato de cobre até 180 dias após o início
1395 da suplementação, associando possíveis deficiências de Cu a menores contagens de
1396 hemácias e menores concentrações de hemoglobina.

1397 O maior aporte de Cu, Mn, Se e Zn proporcionado pelos MMI poderia elevar a
1398 atividade de enzimas antioxidantes como as enzimas superóxido dismutases (SOD;
1399 dependentes de Cu, Mn e Zn) e Glutathione peroxidases (dependentes de Se). Estudos
1400 demonstraram essa resposta em animais que receberam MMI por períodos variados.

1401 A maior atividade dessas enzimas antioxidantes pode reduzir o dano oxidativo as
1402 hemácias, aumentando sua meia vida útil (Sharma et al., 2005; Mattioli et al., 2019), o
1403 que pode ter se refletido em uma maior contagem de hemácias 14 dias após a aplicação
1404 de MMI no presente estudo.

1405 Embora tenha sido observada uma tendência de aumento na contagem de hemácias
1406 no momento do desmame, foi observado um menor volume corpuscular médio (VCM)
1407 nos animais que receberam MMI ($P = 0,0208$). Foi observada também uma tendência de
1408 redução ($P = 0,0884$) na hemoglobina corpuscular média (HCM) nos animais
1409 suplementados (Tabela 2).

1410 Ao realizar uma única aplicação de MMI em bezerros de corte no dia do desmame,
1411 Vedovatto et al. (2020a) não observaram alteração no VCM dos animais suplementados,
1412 bem como em outras variáveis hematológicas associadas (contagem de hemácias,
1413 hematócrito e HCM), com menores valores de CHCM nos animais que receberam a
1414 aplicação de MMI.

1415 De forma inversa, a aplicação de doses consecutivas (0,3 mg/kg de edetato de Cu e
1416 1 mg/kg de edetato de Zn) a cada 40 dias entre os 3 e 7 meses de idade proporcionou um
1417 maior VCM (entre 80 e 120 dias após a primeira aplicação), hemoglobina (40 e 120 dias
1418 após a primeira aplicação) e no HCM (120 dias após a primeira aplicação), a contagem

1419 de hemácias não foi influenciada (Mattioli et al., 2019).

1420 Ao realizar a aplicação de uma dose única em caprinos, Vedovatto et al. (2020b)
1421 observaram uma breve redução na HCM três dias após a aplicação de MMI, com redução
1422 na concentração de hemoglobina corpuscular média nesse tratamento (CHCM), não
1423 havendo efeito sobre outras variáveis hematológicas (Contagem de hemácias,
1424 hematócrito e VCM).

1425 Uma possível razão para os menores valores de VCM e HCM observados nos
1426 animais que receberam MMI pode estar associada a maiores níveis de ceruloplasmina
1427 plasmática, um importante mediador da mobilização de Fe no organismo e o principal
1428 responsável pelo transporte de Cu (Roeser et al., 1970). A aplicação de MMI em bezerros
1429 no nascimento, 100 e 200 dias proporcionou maiores concentrações hepáticas de Cu,
1430 associadas a menores concentrações de Fe (Arthington et al., 2014). Estes autores também
1431 demonstram elevação nos níveis de ceruloplasmina plasmática após a aplicação de MMI
1432 no momento do desmame.

1433 Assim, um maior aporte de Cu, subsequente a aplicação de MMI pode ter
1434 influenciado de forma negativa os teores de Fe hepáticos, reduzindo sua disponibilidade
1435 para a hemoglobina, com consequente reduções no VCM e HCM nos animais
1436 suplementados.

1437 No presente estudo, os valores da concentração de hemácias, hematócrito,
1438 hemoglobina, RDW-CV, CHCM e plaquetas permaneceram dentro das faixas
1439 consideradas normais para bovinos (Roland et al., 2014). As variáveis VCM e HCM
1440 encontraram-se abaixo das faixas consideradas normais (46 a 65 fl e 11 a 17 pg,
1441 respectivamente), podendo ser indicativo do início do desenvolvimento de uma anemia
1442 microcítica em ambos os tratamentos, comumente associada a deficiências de ferro, que
1443 pode resultar da baixa ingestão de alimentos no presente estudo, devido, principalmente

1444 a baixa qualidade de forragem e ausência de suplementação proteica.

1445 Foi observada uma interação entre os tratamentos experimentais sobre a
1446 concentração de plaquetas ao longo do período de avaliação ($P = 0,0004$), com o aumento
1447 em sua concentração 7 dias após o tratamento nos animais que receberam MMI,
1448 retornando aos níveis basais no momento do desmame (d0) e decréscimo em sua
1449 concentração no d14. Nos animais não suplementados, as plaquetas aumentaram de forma
1450 menos pronunciada no d-7, todavia, permaneceram estáveis até o d14.

1451 Quando bezerros recém desmamados foram desafiados com agentes virais, animais
1452 não vacinados apresentaram as menores concentrações de plaquetas, juntamente com
1453 menores titulações de anticorpos. Entre animais vacinados, a aplicação de MMI
1454 proporcionou aumento na concentração de plaquetas (Bittar et al., 2018; Bittar et al.,
1455 2020). Bittar et al. (2020) também observaram maiores titulações de anticorpos, melhor
1456 status sanitário e resposta imune humoral aumentada, adicionalmente a maior
1457 concentração de plaquetas, quando suplementados com MMI, indicando decréscimos
1458 expressivos na contagem de plaquetas em animais submetidos a infecções virais.

1459 A aplicação de MMI elevou a concentração de plaquetas 21 dias após a aplicação
1460 em bezerros ao desmame (Vedovatto et al., 2020a) e após 7 dias em cabritos recém-
1461 nascidos (Vedovatto et al., 2020b). Esses autores sugeriram estes incrementos a um
1462 menor estresse oxidativo nestas células em decorrência da aplicação de MMI e aumento
1463 da atividade de enzimas antioxidantes.

1464 A concentração de leucócitos observada no presente estudo esteve acima dos níveis
1465 preconizados para bovinos ($5 \text{ a } 10 \times 10^3$ células/ μL), associados a níveis elevados de
1466 neutrófilos e linfócitos, podendo evidenciar elevados níveis de estresse e ocorrência de
1467 processos inflamatórios crônicos (Roland et al., 2014).

1468 Não foram observados efeitos dos tratamentos experimentais sobre o leucograma

de bezerros ($P > 0,05$; Tabela 3). Aumentos na concentração de leucócitos podem ser esperados em decorrência de menores danos oxidativos ocasionados a sua membrana celular, aumentando sua meia vida e consequentemente, sua concentração no plasma. As células do sistema imune apresentam elevadas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados em suas membranas, sendo amplamente suscetíveis a peroxidação lipídica (Spears e Weiss, 2008). Desse modo, incrementos na concentração dessas células poderiam ser esperados com a aplicação de MMI.

Mattioli et al. (2019) não observaram alterações na concentração de leucócitos em bezerros submetidos a aplicações consecutivas de MMI (0,3 mg/kg de edetato de Cu e 1 mg/kg de edetato de Zn) entre os 3 e 7 meses de idade. De forma semelhante, Bittar et al. (2020) não relataram efeito da aplicação de MMI sobre a concentração de leucócitos em bezerros submetidos a um desafio com um antígeno viral após o desmame. Animais não vacinados nesse estudo demonstraram marcada redução na contagem de leucócitos, podendo essa redução estar associada a apoptose e necrose dos leucócitos, bem como ser decorrente de sua migração para os tecidos alvo onde as células virais se multiplicam.

Vedovatto et al. (2020a) ao aplicar MMI em bezerros de corte no momento do desmame observaram maiores concentrações de leucócitos apenas 64 dias após a aplicação, associada a uma elevação na quantidade de linfócitos. A concentração de neutrófilos foi aumentada 21 dias após a aplicação de MMI nos animais tratados frente ao grupo controle, não levando a alteração na quantidade de leucócitos totais nesse período.

Uma maior atividade fagocítica dos neutrófilos foi demonstrada por Teixeira et al. (2014) em animais suplementados com MMI 3 e 30 dias após o nascimento. Esses autores relataram ainda maior concentração da enzima glutathione peroxidase com 14 dias,

podendo ter auxiliado na manutenção da integridade celular dos neutrófilos e, consequentemente, no aumento da sua atividade fagocítica.

5.0 Conclusão

A aplicação de MMI 14 dias antecedendo ao desmame reduziu o VCM e o HCM, aumentou a concentração de plaquetas pré-desmame e de hemácias no dia do desmame, com menor concentração de plaquetas 14 dias após o desmame, não apresentando efeitos sobre os componentes do sistema imunológico de bezerros de corte, mantidos em pastagens tropicais e com acesso a suplementação mineral.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Agradecimentos

Nós gostaríamos de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos fornecida ao primeiro autor, à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT; 116/2016) por patrocinar o estudo, à empresa Multimin (Fort Collins, CO, USA,) pela doação do MMI.

Referências

AOAC, 2000. Official methods of analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

- 1517 ARTHINGTON, J. D.; MORIEL, P.; MARTINS, P. G. M. A.; LAMB, G. C.;
 1518 HAVENGA, L. J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and
 1519 trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. **Journal of Animal Science**, v.
 1520 92, p. 2630-2640, 2014. DOI: 10.2527/jas2013-7164
 1521
- 1522 BITTAR, J. H. J.; HOYOS-JARAMILLO, A.; HURLEY, D. J.; WOOLUMS, A. R.;
 1523 HAVENGA, L. J.; LOURENÇO, J. M.; BARNETT, G.; GOMES, V.; SALIKI, J. T.;
 1524 HARMON, D. D.; PALOMARES, R. A. Effects of injectable trace minerals administered
 1525 concurrently with a modified live virus vaccine on long-term protection against bovine
 1526 viral diarrhea virus acute infection in dairy calves. **Research in Veterinary Science**, v.
 1527 119, p. 250-258, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.07.003>
 1528
- 1529 BITTAR, J. H. J.; PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; HOYOS-JARAMILLO, A.;
 1530 RODRIGUEZ, A.; STOSKUTE, A.; HAMRICK, B.; NORTON, N.; ADKINS, M.;
 1531 SALIKI, J. T.; SANCHEZ, S.; LAUBER, K. Immune response and onset of protection
 1532 from Bovine viral diarrhea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination
 1533 concurrent with injectable trace minerals administration in newly received beef calves.
 1534 **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 225, 2020.
 1535 <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2020.110055>
 1536
- 1537 CAPPELLE, E. R.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; CECON, P. R.
 1538 Estimates of the Energy Value from Chemical Characteristics of the Feedstuffs. **Brazilian**
 1539 **Journal of Animal Science**, v. 30, p. 1837-11856, 2001. DOI: 10.1590/S1516-
 1540 35982001000700022
 1541

1542 LYNCH, E. M.; McGEE, M.; DOYLE, S.; EARLEY, B. Effect of pre-weaning
 1543 concentrate supplementation on peripheral distribution of leukocytes, functional activity
 1544 of neutrophils, acute phase protein and behavioural responses of abruptly weaned and
 1545 housed beef calves. **BMC Veterinary Research**, v. 8, p. 1–11, 2012. DOI:
 1546 10.1186/1746-6148-8-1

1547

1548 MACHADO, V. S.; BICALHO, M. L. S.; PEREIRA, R. V.; CAIXETA, L. S.; KNAUER,
 1549 W. A.; OIKONOMOU, G.; GILBERT, R. O.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable
 1550 trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health
 1551 and, production of lactating Holstein cows. **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 451-456,
 1552 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022>

1553

1554 MATTIOLI, G. A.; ROSA, D. E.; TURIC, E.; TESTA, J. A.; LIZARRAGA, R. M.;
 1555 FAZZIO, L. E. Effect of Injectable Copper and Zinc Supplementation on Weight,
 1556 Hematological Parameters, and Immune Response in Pre-weaning Beef Calves.
 1557 **Biological Trace Element Research**, v. 189, p. 456-462, 2019. DOI: 10.1007/s12011-
 1558 018-1493-9

1559

1560 NRC. Nutrition Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised
 1561 edition. The National Academies of Sciences, Washington, DC, 2001.

1562

1563 NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient
 1564 Requirements of Beef Cattle. 8th revised edition. Washington, DC: National Academy
 1565 Press, 2016.

1566

- 1567 ROESER, H. P.; LEE, G. R.; NACHT, S.; CARTWRIGHT, G. E. The role of
1568 ceruloplasmin in iron metabolism. **Journal of Clinical Investigation**, v. 49, p. 2408–
1569 2417, 1970. DOI: 10.1172/JCI106460
1570
- 1571 ROLAND, L.; DRILLICH, M.; IWERSEN, M. Hematology as a diagnostic tool in bovine
1572 medicine. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 26, p. 592-598, 2014.
1573 DOI: 10.1177/1040638714546490
1574
- 1575 SHARMA, M. C.; JOSHI, C.; PATHAK, N. N.; KAUR, H. Copper status and enzyme,
1576 hormone, vitamin and immune function in heifers. **Research in Veterinary Science**, v.
1577 79, p. 113-123, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2004.11.015>
1578
- 1579 SPEARS, J. W.; WEISS, W. P. Role of antioxidants and trace elements in health and
1580 immunity of transition dairy cows. **The Veterinary Journal**, v. 176, p. 70–76, 2008.
1581 <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.015>
1582
- 1583 SUTTLE, N. F. **The mineral nutrition of livestock**. 4rd edition. CABI, 2010. 579 p.
1584
- 1585 TEIXEIRA, A. G. V.; LIMA, F. S.; BICALHO, M. L. S.; KUSSLER, A.; LIMA, S. F.;
1586 FELIPPE, M. J.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace mineral supplement
1587 containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of
1588 dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1-11, 2014.
1589 <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7625>
1590

- 1591 VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: carbohydrate
1592 methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. **Journal of Dairy**
1593 **Science**, v. 74, p. 3583–3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
1594
- 1595 VEDOVATTO, M.; PEREIRA, C. S.; CORTADA NETO, I. M.; MORIEL, P.; MORAIS,
1596 M. G.; FRANCO, G. L. Effect of a trace mineral injection at weaning on growth,
1597 antioxidant enzymes activity and immune system in Nellore Calves. **Tropical Animal**
1598 **Health and Production**, v. 52, p. 881-886, 2020a. DOI: 10.1007/s11250-019-02056-0
1599
- 1600 VEDOVATTO, M.; CORTADA NETO, I. M.; PEREIRA, C. S.; BENTO, A. L. L.;
1601 ROCHA, R. F. A. T; MORIEL, P.; FRANCO, G. L. Effect of the injection of trace
1602 minerals on growth performance, health, antioxidant enzymes activity, and immune
1603 system of newborn Boer kids. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 49, p. 1-10,
1604 2020b. DOI: 10.37496/rbz4920190255
1605
- 1606 YATOO, M. I.; SAXENA, A.; DEEPA, P. M.; HABEAB, B. P; DEVI, S.; JATAV, R.
1607 S.; DIMRI, U. Role of trace elements in animals: a review. **Veterinary World**, v. 6, n.
1608 12, p. 963-967, 2013. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2013.963-967>

1609 **Tabela 1.** Composição química das pastagens durante período experimental

Ítems ¹	Lote 1				Lote 2			
	d-14	d0	d28	d56	d-14	d0	d28	d56
MS (g/kg)	313,3	325,6	333,5	363,2	336,3	326,6	353,2	413,2
<i>g/kg de MS</i>								
PB	79,5	67,2	63,9	43,5	74,4	62,1	46,4	41,3
FDN	654,1	698,6	666,3	727,2	642,3	712,6	683,2	738,2
FDA	331,8	372,1	315,4	382,3	315,4	409,5	402,3	432,4
EE	11,3	13,6	13,1	13,3	13,1	12,9	12,1	12,9
MM	85,8	91,4	93,4	93,1	93,4	94,5	110,3	98,8
CNF	169,3	129,2	163,3	122,9	176,8	117,9	148,0	108,8
NDT	513,2	478,0	498,2	448,5	518,8	466,4	479,2	440,1

1610 ¹MS, matéria seca; PB, proteína bruta; FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em
 1611 detergente ácido; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos (100–(Cinzas + PB
 1612 + FDN + EE); NRC, 2001); MM, matéria mineral (cinzas); NDT, nutrientes digestíveis
 1613 totais (91,6086 – 0,669233 x FDN + 0,437932 x PB); Cappelle et al., 2001).

Tabela 2. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o eritrograma de bezerros mantidos em pastagens tropicais

Itens ⁵	Tratamentos ¹		Médias ² Dia	EPM ³	P-value ⁴		
	SALINA	MMI			Trat	Dia	Trat × dia
Hemácias, ×10 ⁶ células/μL					0,1818	<0,0001	0,0836
d-14	11,74 ^{Ba}	11,82 ^{Ba}	-	0,09			
d-7	11,88 ^{Ba}	11,87 ^{Ba}	-	0,09			
d0	11,61 ^{Bb}	12,08 ^{Ba}	-	0,09			
d14	12,39 ^{Aa}	12,54 ^{Aa}	-	0,09			
VCM, fL	34,79 ^a	34,48 ^b		0,09	0,0208	<0,0001	0,7925
d-14	34,80	34,67	34,73 ^A	0,16			
d-7	34,85	34,54	34,69 ^A	0,16			
d0	34,42	33,98	34,20 ^B	0,16			
d14	35,09	34,74	34,91 ^A	0,16			
RDW-CV (%)					0,3317	<0,0001	0,9264
d-14	26,20	26,43	26,32 ^A	0,16			
d-7	25,91	26,01	25,96 ^B	0,16			
d0	25,81	25,86	25,83 ^B	0,16			
d14	24,89	25,10	24,99 ^C	0,16			
Hematócrito (%)					0,9600	<0,0001	0,1470
d-14	40,55	40,59	40,57 ^{BC}	0,30			
d-7	41,26	40,60	40,93 ^{BC}	0,30			
d0	39,87	40,62	40,25 ^C	0,30			
d14	43,57	43,35	43,46 ^A	0,30			
Hemoglobina, g/dL					0,5235	<0,0001	0,1348
d-14	12,84	12,81	12,82 ^B	0,09			
d-7	13,19	12,90	13,04 ^B	0,09			
d0	12,72	12,94	12,83 ^B	0,09			
d14	13,50	13,29	13,39 ^A	0,09			
HCM, pg	11,03 ^a	10,89 ^b		0,08	0,0884	0,0042	0,9700
d-14	11,12	10,99	11,06 ^A	0,09			
d-7	11,16	11,01	11,09 ^A	0,09			
d0	10,99	10,80	10,90 ^B	0,09			
d14	10,86	10,76	10,81 ^B	0,09			
CHCM, pg					0,4134	<0,0001	0,9860
d-14	31,85	31,69	31,77 ^A	0,11			
d-7	32,01	31,88	31,95 ^A	0,11			
d0	32,01	31,86	31,93 ^A	0,11			
d14	30,90	30,84	30,87 ^B	0,11			
Plaquetas, ×10 ³ células/μL					0,4952	0,0015	0,0004
d-14	456,56 ^{Ba}	522,71 ^{Ba}	-	30,82			
d-7	535,84 ^{Ab}	670,43 ^{Aa}	-	30,82			
d0	553,34 ^{Aa}	520,70 ^{Ba}	-	30,82			
d14	596,53 ^{Aa}	497,84 ^{Bb}	-	30,82			

1616 ¹Tratamentos: SALINA, injeção de solução salina 0,9 % de NaCl (1 mL/45 kg de PC),
1617 MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC; Multimin 90, Multimin, Fort Collins,
1618 CO, USA).

1619 ²São apresentadas médias por dia quando o *P*-value para dia é < 0,05 e Trat × dia > 0,05.

1620 ³Erro padrão da média.

1621 ⁴Trat, efeito de tratamento; Dia, efeito de dia; Trat × dia, interação entre tratamento e dia.

1622 ⁵VCM, volume corpuscular médio, HCM, hemoglobina corpuscular média, CHCM,
1623 concentração de hemoglobina corpuscular média, RDW-CV, amplitude de distribuição
1624 do volume corpuscular (expresso como coeficiente de variação).

Tabela 3. Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o leucograma de bezerros mantidos em pastagens tropicais

Itens	Tratamentos ¹		Média ² dia	EPM ³	P-value ⁴		
	SALINA	MMI			Trat	Dia	Trat × dia
Leucócitos, ×10 ³ células/μL					0,4439	<0,0001	0,3005
d-14	15,39	15,62	15,78 ^A	0,38			
d-7	14,72	14,33	14,76 ^B	0,38			
d0	15,25	15,98	15,82 ^A	0,38			
d14	12,25	12,70	12,51 ^C	0,38			
Neutrófilos, ×10 ³ células/μL	4,11	4,34	-	0,19	0,2333	0,1501	0,8836
Linfócitos, ×10 ³ células/μL					0,8394	<0,0001	0,2287
d-14	10,50	10,89	10,70 ^A	0,26			
d-7	10,08	9,70	9,90 ^B	0,26			
d0	10,35	10,78	10,57 ^A	0,26			
d14	8,37	7,75	8,06 ^C	0,26			
Monócitos, ×10 ³ células/μL					0,6662	<0,0001	0,9384
d-14	0,00	0,00	0,00 ^B	0,02			
d-7	0,04	0,04	0,04 ^B	0,02			
d0	0,13	0,13	0,13 ^A	0,02			
d14	0,02	0,05	0,04 ^B	0,02			
Eosinófilos, ×10 ³ células/μL					0,6777	<0,0001	0,7530
d-14	0,34	0,39	0,37 ^A	0,03			
d-7	0,12	0,07	0,09 ^B	0,03			
d0	0,32	0,35	0,34 ^A	0,03			
d14	0,20	0,23	0,21 ^B	0,03			

¹Tratamentos: SALINA, injeção de solução salina 0,9 % de NaCl (1 mL/45 kg de PC), MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC; Multimin 90, Multimin, Fort Collins, CO, USA).

²São apresentadas médias por dia quando o P-value para Dia é < 0,05 e Trat × dia > 0,05.

³Erro padrão da média.

⁴Trat, efeito de tratamento; Dia, efeito de dia; Trat × dia, interação entre tratamento e dia.

1633 **CAPÍTULO 3 – MICROMINERAIS INJETÁVEIS NO PERÍODO PRÉ-**
1634 **DESMAME SOBRE O DESEMPENHO E RESISTÊNCIA PARASITÁRIA DE**
1635 **BEZERROS NELORE EM PASTAGENS TROPICAIS**

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico *Livestock Science* excetuando-se o idioma.

1636 *Running Head: microminerais injetáveis e desempenho*

1637

1638 **Microminerais injetáveis no período pré-desmame sobre o desempenho e**
1639 **resistência parasitária de bezerros nelore em pastagens tropicais**

1640 Anderson Luiz de Lucca Bento^a, Gumercindo Lorian Franco^{a*}

1641

1642 ^aFaculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso
1643 do Sul, Av. Senador Filinto Muller, nº. 2443, Campo Grande/MS, Brazil, 79070-900.

1644 *Autor para correspondência: gumercindo.franco@ufms.br

Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de microminerais injetáveis (MMI) 14 dias antecedendo ao desmame sobre o desempenho e carga parasitária em bezerros Nelore mantidos em pastos de clima tropical. No experimento 1 foram utilizados 64 bezerros em fase de desmame, sendo 32 machos e 32 fêmeas (aproximadamente 7 meses de idade) distribuídos em dois lotes experimentais em função da época de nascimento. As fêmeas apresentaram PC médio inicial de 163 ± 19 kg e os machos 181 ± 23 kg. No experimento 2 foram utilizados 56 bezerros com média de idade de 8 meses, sendo 24 machos (PC médio inicial de 202 ± 34 kg) e 32 fêmeas (206 ± 38 kg). Ambos os estudos tiveram duração de 70 dias por lote, compreendendo o período de 14 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). Os animais foram divididos pelo PC e sexo em dois tratamentos: **SALINA**, injeção de solução salina contendo 0,9 % de NaCl (1 mL/45 kg de PC) e **MMI**, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC) contendo Cu, Mn, Se e Zn na composição. Os MMI apresentavam 15 mg de Cu/mL, 10 mg de Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 60 mg de Zn/mL. Os animais foram manejados sempre em lote único e alternados em diferentes piquetes de *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com acesso a água e suplementação mineral (experimento 1) e suplemento proteinado (experimento 2). No experimento 1, a aplicação de MMI não influenciou o PC ($P = 0,7298$) e o GMD dos animais ($P = 0,3908$), não havendo interação tratamento x dia ($P > 0,4893$) na avaliação do PC. Foi observado efeito de dia para o PC dos animais ao longo da avaliação ($P < 0,0001$). No experimento 2 também não foram observados efeito da aplicação de MMI sobre o PC ($P = 0,6762$) e GMD dos animais ($P = 0,5343$), assim como não houve interação tratamento x dia na avaliação do PC ($P = 0,5985$). A aplicação de MMI também não influenciou ($P = 0,6601$) a contagem de ovos nas fezes (OPG) entre

1670 o início e o final do experimento. A aplicação de MMI em bezerros Nelore mantidos em
1671 pastagens tropicais 14 dias pré-desmame não influenciou o GMD e a carga parasitária
1672 dos animais. Apesar do maior aporte de microminerais proporcionado pelo MMI, as
1673 limitações de macronutrientes (principalmente PB) reduziram o desempenho e limitaram
1674 os possíveis efeitos do MMI sobre o desempenho produtivo.

1675 ***Palavras-chave:*** *bos indicus*; endoparasitas; minerais traços; OPG

1. Introdução

Nos sistemas de produção de bovinos em pastejo, a produtividade animal é diretamente dependente da disponibilidade e valor nutricional das forrageiras, que podem variar amplamente em função das características do solo, clima, cultivar, entre outros fatores. Ruminantes em pastejo estão frequentemente sujeitos a ocorrência de deficiências e desequilíbrios nutricionais, que são em geral, corrigidas por meio de programas de suplementação, que visam complementar os elementos deficientes na dieta.

A suplementação por meio de misturas minerais em pó é a técnica mais comumente utilizada para a suplementação mineral de bovinos mantidos em pastagens. Contudo, o atendimento dos requerimentos nutricionais de bovinos em pastejo é uma tarefa complicada devido a diversos fatores como a presença de elementos antagonistas na forragem e água de bebida, e dificuldades na garantia de um consumo regular e previsível de suplemento mineral, havendo grande variação na ingestão destes suplementos entre os indivíduos de um rebanho, anos, estações do ano e períodos de estresse (Manzano et al., 2012; Ranches et al., 2021). Assim, a inclusão dos microminerais na dieta pode não assegurar seu consumo e absorção pelo animal (Machado et al., 2013).

Nesse cenário, o período do desmame é um momento que proporciona alterações comportamentais e aumento da demanda da função imune (Lynch et al., 2012), resultando frequentemente em mudanças fisiológicas, no status nutricional e imunológico (Ranches et al., 2021), podendo, conseqüentemente, demandar uma maior quantidade de microminerais chave para auxiliar nesse processo.

O fornecimento de microminerais via injetável (MMI) associado a esse período pode ser uma forma efetiva para complementar a suplementação oral e contornar possíveis flutuações de consumo, fornecendo uma quantidade conhecida de microminerais a todos os animais do rebanho (Arthington et al., 2014).

A aplicação de MMI apresentou efeitos positivos quando fornecidos a bezerros no momento do desmame, proporcionando aumentos na concentração destes elementos no fígado dos animais suplementados (Arthington et al., 2014; Palomares et al., 2016), melhoria de componentes do sistema imunológico e atividade antioxidante (Teixeira et al., 2014; Arthington e Havenga, 2012; Tomasi et al., 2018), e melhoria na saúde dos animais (Teixeira et al., 2014; Bittar et al., 2020), que por sua vez podem acarretar em melhor desempenho produtivo dos animais.

Nossa hipótese é que a utilização de MMI 14 dias antecedendo ao desmame possa auxiliar na manutenção dos níveis hepáticos de microminerais chave associadas a flutuações de consumo, se refletindo em incrementos na saúde, resistência parasitária e desempenho dos animais suplementados.

O objetivo com este estudo foi avaliar o efeito da aplicação de MMI antecedendo ao desmame sobre o ganho de peso e a resistência a endoparasitas de bezerros Nelore manejados em pastagens tropicais.

2. Material e Métodos

Os experimentos a seguir foram aprovados pela Comissão de ética no uso de animais (CEUA) da UFMS sob o protocolo nº 754/2016, e seguiram os padrões éticos demandados pela pesquisa com animais, sendo conduzidos entre os dias 24 de abril e 21 de agosto de 2017 (experimento 1) e entre 21 de maio e 30 de julho de 2019 (experimento 2), na Fazenda Escola da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia pertencente à UFMS, localizada no município de Terenos, Mato Grosso do Sul, Brasil, nas coordenadas 20°26'50,8"S, 54°50'21,5"O.

2.1 Animais, tratamentos e coletas de amostras

Experimento 1

Foram utilizados 64 bezerros Nelore em fase de desmame, subdivididos em dois grupos experimentais, separados pela época de nascimento dos animais. O grupo 1 foi formado por 18 machos e 14 fêmeas, nascidos entre 14 de setembro e 27 de outubro de 2017 e média de idade ao desmame de $208 \pm 13,3$ dias, enquanto o grupo 2 continha 14 machos e 18 fêmeas nascidos entre 30 de outubro de 2017 e 11 de janeiro de 2018 e média de idade ao desmame de $207 \pm 21,4$ dias.

Cada grupo apresentou um período de avaliação de 70 dias, compreendendo o período de 14 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). As fêmeas apresentaram PC médio inicial de 166 ± 21 kg (grupo 1) e 160 ± 19 kg (grupo 2) e os machos 183 ± 16 kg (grupo 1) e 172 ± 23 kg (grupo 2). Cada animal possuía uma identificação individual por meio de brinco auricular.

O período experimental teve duração de 70 dias, compreendendo o período de 14 dias anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56). No d0 (desmame), os animais foram vacinados contra febre aftosa (2 mL; Bovicel[®], Valée S.A.) e clostridioses (5 mL; Excell 10[®], Vencofarma), receberam Ivermectina 1% (Ivomec[®], Merial) e foram identificados numericamente na perna direita por meio de ferro candente. Após o desmame, os animais foram alternados em diferentes piquetes de *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com acesso a água e suplementação mineral, sendo a qualidade das forrageiras avaliada através de colheitas manuais, simulando o pastejo, em quatro momentos (d-14, d0, d28 e d56) para cada bloco.

No início do período experimental (d-14), os animais foram pesados e classificados em função do sexo e PC, sendo distribuídos de forma homogênea em função do PC em dois tratamentos que foram aplicados via subcutânea na tábua do pescoço: injeção de

1750 solução salina (SALINA; 0.9 % NaCl; 1 mL/45 kg de PC) e microminerais injetáveis
1751 (MMI; 1 mL/45kg de PC). A solução mineral injetável possuía 15 mg de Cu/mL, 10 mg
1752 de Mn/mL, 5 mg de Se/mL e 60 mg de Zn/mL (Multimin 90, Multimin, Fort Collins, CO,
1753 USA).

1754 **Experimento 2**

1755 Para a realização do estudo foram utilizados 56 bezerros Nelore em fase de
1756 desmame, com aproximadamente 8 ± 1 meses de idade, sendo 24 machos (PC médio
1757 inicial de 202 ± 34 kg) e 32 fêmeas (206 ± 38 kg). Assim como no experimento 1, o
1758 período experimental teve a duração de 70 dias, compreendendo o período de 14 dias
1759 anteriores ao desmame (d-14) a 56 dias após o desmame (d56), sendo distribuídos nos
1760 mesmos tratamentos experimentais do experimento 1 em (SALINA; 0.9 % NaCl; 1
1761 mL/45 kg de PC) e microminerais injetáveis (MMI; 1 mL/45kg de PC) em função do sexo
1762 e PC.

1763 Após a distribuição dos animais e aplicação dos tratamentos experimentais, os
1764 bezerros foram mantidos em um piquete único formado com capim-marandú [*Urochloa*
1765 *brizantha* (Hochst. ex A. Rich) R. D. Webster, cv. Marandu] com suas mães, que
1766 possuíam livre acesso a água e suplementos minerais.

1767 No dia do desmame (d0), os bezerros foram vacinados contra contra febre
1768 aftosa (2 mL; Bovicel[®], Valée S.A.) e clostridioses (5 mL; Excell 10[®], Vencofarma), não
1769 sendo vermifugados e foram identificados numericamente na perna direita por meio de
1770 marcação a ferro candente. Após os procedimentos, estes foram separados de suas mães
1771 e direcionados a um piquete anexo ao curral, sendo manejados em lote único até o final
1772 do experimento em dois piquetes de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, com acesso a água
1773 e suplementação proteinada (1 g/kg de PC).

1774 Assim como no experimento 1, a composição química das forrageiras foi avaliada

1775 através simulação de pastejo por meio de colheitas manuais. Essas amostragens foram
1776 realizadas no início do experimento (d-14), no dia do desmame (d0), 28 e 56 dias após o
1777 desmame (d28 e d56, respectivamente). As amostras em ambos os experimentos foram
1778 secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas dias e moídas em peneira de 1
1779 mm, para posterior análise de sua composição química.

1780 Os animais foram pesados sempre no período da manhã, sem jejum de sólidos ou
1781 hídrico, nos dias -14, 0, 28 e 56 do período experimental. Amostras de fezes foram
1782 coletadas diretamente da ampola retal de todos os animais nos dias -14 (antecedendo a
1783 aplicação dos tratamentos experimentais) e no d56 (final do período experimental),
1784 armazenadas em sacos plásticos estéreis e mantidas refrigeradas até a realização de
1785 contagens de OPG pela técnica de Gordon & Whitlock – modificada (Hoffmann, 1987).

1786

1787 2.2 Análises laboratoriais

1788 A avaliação da composição química da forrageira foi realizada segundo as
1789 metodologias do AOAC (2000) para determinação dos teores de matéria seca (MS;
1790 método 930,15), proteína bruta (PB; método 976,05), extrato etéreo (EE; método 920,39)
1791 e matéria mineral (MM; método 942,05), e seguindo as metodologias de Van Soest et al.
1792 (1991) para determinação dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em
1793 detergente ácido (FDA). Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram estimados de acordo
1794 com o NRC (2001) como: $CNF (\%) = 100 - (\% FDN + \% PB + \% EE + \% MM)$. O teor
1795 de nutrientes digestíveis totais foi estimado com base nos teores de FDN e PB das
1796 amostras de acordo com a equação $NDT = 91,6086 - 0,669233 \times FDN + 0,437932 \times PB$,
1797 (Cappelle et al., 2001). A composição bromatológica das pastagens é demonstrada na
1798 Tabela 1.

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram analisados como delineamento inteiramente casualizado e foi utilizado o procedimento MIXED do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA, versão 9,4) com a aproximação Satterthwaite para determinar os graus de liberdade do denominador para efeitos fixos. O modelo estatístico para as variáveis de desempenho (GMD e peso corporal) continham como efeito fixo o tratamento e, como variável aleatória, animal (tratamento), sexo e lote (apenas no experimento 1).

Os dados de OPG foram analisados depois de submetidos à distribuição normal por meio de transformação logarítmica ($\text{Log}_{10}(\text{OPG} + 1)$). O modelo estatístico para a contagem de OPG considera os efeitos fixos de tratamento, dia e a interação resultante destes efeitos, e animal (tratamento) e sexo como variáveis aleatórias. Estas variáveis foram analisadas como medidas repetidas no tempo, usando dia como termo específico e animal (tratamento) como sujeito. Para estas, os resultados do d-14 (início do período experimental) foram incluídos como covariáveis em cada análise. Foi escolhida a estrutura de covariância que melhor se ajuste aos dados de cada variável, tomando como base o menor critério de informação de Akaike.

A função PDIFF foi utilizada quando detectada significância no teste-F e todos os resultados são reportados como LSMEANS seguidos por erro padrão da média (EPM). A significância foi definida quando $P \leq 0,05$. Foram consideradas tendências valores com $P > 0,05$ e $\leq 0,10$.

3.0 Resultados

No experimento 1, a aplicação de MMI não influenciou o PC ($P = 0,7298$) e o GMD dos animais ($P = 0,3908$), não havendo interação tratamento x dia ($P = 0,4893$) na avaliação do PC (Tabela 2). Foi observado efeito de dia para o PC dos animais ao longo

da avaliação ($P < 0,0001$), com aumento do PC dos animais do início da avaliação até o desmame, após o qual foi observada perda de PC até 28 dias após o desmame e recuperação e aumento do PC dos 28 aos 56 dias pós desmame.

No experimento 2 também não foram observados efeito da aplicação de MMI sobre o PC ($P = 0,6762$) e GMD dos animais ($P = 0,5343$), assim como não houve interação tratamento x dia na avaliação do PC ($P = 0,5985$; Tabela 3). Foi observado efeito de dia ($P < 0,0001$) para o PC dos animais ao longo da avaliação, onde, houve aumento do PC do d-14 ao d0 (desmame). Não houve alteração do PC do desmame até 28 dias após o desmame (d28), que voltou a aumentar 56 dias após o desmame em ambos os tratamentos (Tabela 3). A aplicação de MMI também não influenciou ($P = 0,2014$) a contagem de ovos nas fezes (OPG) dos animais no experimento.

4.0 Discussão

No experimento 1, os bezerros de ambos os tratamentos experimentais apresentaram pesos semelhantes ao início das avaliações, não sendo observado efeito da aplicação de MMI sobre o PC e GMD ao longo do período de avaliação.

Os MMI tem apresentado efeitos positivos sobre a melhora no sistema imunológico e controle do estresse oxidativo quando fornecidos a bezerros nas fases de pré e pós-desmame. A aplicação de Cu e Zn em intervalos de 40 dias a partir dos 3 meses de idade proporcionou uma maior titulação de anticorpos comparativamente a animais não suplementados após a vacinação 40 e 80 dias após a primeira aplicação (Mattioli et al., 2019).

Bittar et al. (2020) também observaram maiores titulações de anticorpos, melhor status sanitário e resposta imune humoral aumentada em bezerros suplementados com MMI e submetidos a um desafio com antígenos virais 5 dias após a vacinação.

1849 Uma única aplicação de MMI (15 mg de Cu/mL, 10 mg de Mn/mL, 5 mg de Se/mL
1850 e 60 mg de Zn/mL) no momento do desmame proporcionou incrementos na concentração
1851 de neutrófilos e plaquetas (21 dias após injeção), linfócitos e leucócitos (64 dias após
1852 injeção), associados a níveis aumentados de superóxido dismutase (7 dias após injeção)
1853 e glutathione peroxidase (7 a 21 dias após injeção) (Vedovatto et al., 2020).

1854 A aplicação de MMI 3 e 30 dias após o nascimento proporcionou uma maior
1855 atividade fagocítica dos neutrófilos comparativamente ao grupo controle, em associação
1856 a maiores concentrações da enzima glutathione peroxidase com 14 dias (Teixeira et al.,
1857 2014).

1858 Os bezerros foram desmamados nos meses de maio e junho, período no qual são
1859 observados baixos valores nutricionais nas pastagens da região, que usualmente possuem
1860 elevados teores de FDN e FDA, e baixos teores de PB, podendo levar limitações no
1861 consumo de MS e digestibilidade da forragem pelos animais (Lazzarini et al., 2009). Os
1862 bezerros apresentaram um baixo GMD (0,292 kg/dia) do início da avaliação (d-14) ao
1863 momento do desmame (d0), refletindo a baixa qualidade da forragem disponível.

1864 Após o desmame foram observados os piores GMD, perda de 0,083 kg/dia até 28
1865 dias pós desmame (d28). O desmame é um momento estressante para o bezerro e acarreta
1866 alterações comportamentais, na concentração de mediadores hormonais de estresse e na
1867 função imune (Lynch et al., 2012). Bezerros recém desmamados apresentam redução na
1868 ocorrência de brincadeiras entre os membros do lote, aumento na frequência de
1869 vocalização e caminhadas e redução na frequência de pastejo, frequentemente resultando
1870 em GMD baixos ou negativos nesse período (Enríquez et al., 2010). Os GMD negativos
1871 observados entre o d0 e d28 estão possivelmente associados a esses fatores, bem como ao
1872 baixo valor nutricional da forragem disponível.

1873 Entre d28 e d56 os bezerros voltaram a apresentar GMD positivos, com média de
1874 0,135 kg/dia até o final da avaliação. Os GMD apresentados pelos animais durante todo
1875 o período de avaliação (d-14 a d56) ficaram abaixo de 0,100 kg/dia, ressaltando as
1876 limitações nutricionais e o efeito do estresse do desmame nas condições do estudo.

1877 No experimento 1, os bezerros tiveram acesso apenas a suplementação mineral
1878 durante todo o período de avaliação. Assim, possivelmente a baixa qualidade da forragem,
1879 associada a ausência de suplementação proteica/energética fez com que fosse observado
1880 um baixo desempenho dos bezerros durante todo o estudo. Nessas condições, apesar do
1881 maior aporte de microminerais proporcionado pelos MMI, a elevada restrição de
1882 macronutrientes (proteína e energia) sobrepujou os efeitos positivos dos MMI, limitando
1883 o desempenho dos animais.

1884 No experimento 2 os bezerros foram desmamados com uma idade mais avançada
1885 (8 meses), apresentando maior PC e maiores GMD na fase inicial da avaliação, todavia,
1886 também não foi observado efeito da aplicação de MMI sobre o GMD dos bezerros ($P =$
1887 0,5343).

1888 A partir do momento do desmame, os bezerros tiveram livre acesso a um
1889 suplemento proteinado (45% de PB e 40% de NDT, consumo esperado 1 g/kg de PC).
1890 Foram observados nessa fase GMD médios de 0,044 kg/dia e 0,069 kg/dia, do d0 ao d28
1891 e do d28 ao d56, respectivamente, sendo suficiente para proporcionar apenas um pequeno
1892 ganho de peso do desmame até o d56.

1893 Apesar da oferta de suplementação proteica aos bezerros no período pós desmame,
1894 estes apresentaram um baixo consumo do produto (avaliação visual), acarretando em uma
1895 baixa resposta dos animais a suplementação durante o período avaliado, não sendo esta
1896 suplementação suficiente para compensar os baixos níveis de PB da forragem e assim
1897 possibilitar maiores GMD e possivelmente uma melhor resposta a suplementação MMI.

1898 Vedovatto et al. (2020) também não observaram efeito de uma aplicação única de MMI
1899 sobre o GMD em bezerros de corte no dia do desmame mantidos em condições
1900 semelhantes a do presente estudo.

1901 Mattioli et al. (2019) observaram maiores GMD em animais que receberam
1902 aplicações consecutivas de Cu e Zn entre 3 e 7 meses de idade, observando desempenhos
1903 entre 0,400 e 0,800 kg/dia ao longo da avaliação.

1904 A aplicação de MMI 14 dias pré-desmame também não influenciou os valores de
1905 OPG dos bezerros no experimento 2 ($P = 0,2014$), que mantiveram níveis parasitários
1906 moderados ao longo da avaliação. Uma série de fatores interfere no desenvolvimento da
1907 imunidade contra endoparasitas, incluindo a constituição genética do indivíduo, sexo,
1908 idade e status nutricional. A resposta imune do hospedeiro regula o estabelecimento,
1909 desenvolvimento, fecundidade e sobrevivência dos parasitas (Charlier et al., 2020).

1910 Em geral, a resposta imune contra parasitas gastrointestinais desencadeada em
1911 ruminantes é caracterizada por uma elevada liberação de linfócitos nos linfonodos
1912 próximos, infiltração de eosinófilos e mastócitos nas mucosas, associados a elevação nos
1913 níveis de imunoglobulinas (Charlier et al., 2017).

1914 Nesse sentido, uma possível ação antioxidante associada a aplicação de MMI sobre
1915 os leucócitos poderia auxiliar na melhoria da resposta imune do hospedeiro, auxiliando
1916 na manutenção de níveis parasitários reduzidos, garantindo um melhor status sanitário e
1917 consequentemente na obtenção de melhores desempenhos produtivos.

1918 Conforme observado no leucograma dos animais do experimento 1 (descritos no
1919 artigo 1), a aplicação de MMI não influenciou a concentração de leucócitos. Novamente,
1920 a maior limitação proporcionada pelas deficiências de macronutrientes pode ter limitado
1921 a resposta dos animais aos MMI.

1922

1923 **5.0 Conclusão**

1924 A aplicação de MMI em bezerros Nelore mantidos em pastagens tropicais 14 dias
 1925 pré-desmame não influenciou o GMD e a carga parasitária dos animais. Apesar do maior
 1926 aporte de microminerais proporcionado pelo MMI, as limitações de macronutrientes
 1927 (principalmente PB) reduziram o desempenho e limitaram os possíveis efeitos do MMI
 1928 sobre o desempenho produtivo.

1929

1930 **Conflito de interesse**

1931 Os autores declaram não haver conflito de interesse.

1932

1933 **Agradecimentos**

1934 Nós gostaríamos de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
 1935 Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos fornecida ao primeiro autor, à Fundação
 1936 de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato
 1937 Grosso do Sul (FUNDECT; 116/2016) por patrocinar o estudo, à empresa Multimin (Fort
 1938 Collins, CO, USA,) pela doação do MMI.

1939

1940 **Referências**

1941 AOAC, 2000. Official methods of analysis, 17th ed. Association of Official Analytical
 1942 Chemists, Gaithersburg, MD.

1943

1944 ARTHINGTON, J. D.; HAVENGA, L. J. Effect of injectable trace minerals on the
 1945 humoral immune response to multivalent vaccine administration in beef calves. **Journal**
 1946 **of Animal Science**, v. 90, p. 1966–1971, 2012. DOI: 10.2527/jas2011-4024

1947

- 1948 ARTHINGTON, J. D.; MORIEL, P.; MARTINS, P. G. M. A.; LAMB, G. C.;
- 1949 HAVENGA, L. J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and
- 1950 trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. **Journal of Animal Science**, v.
- 1951 92, p. 2630-2640, 2014. DOI: 10.2527/jas2013-7164
- 1952
- 1953 BITTAR, J. H. J.; PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; HOYOS-JARAMILLO, A.;
- 1954 RODRIGUEZ, A.; STOSKUTE, A.; HAMRICK, B.; NORTON, N.; ADKINS, M.;
- 1955 SALIKI, J. T.; SANCHEZ, S.; LAUBER, K. Immune response and onset of protection
- 1956 from Bovine viral diarrhea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination
- 1957 concurrent with injectable trace minerals administration in newly received beef calves.
- 1958 **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 225, 2020.
- 1959 <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2020.110055>
- 1960
- 1961 CAPPELLE, E. R.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; CECON, P. R.
- 1962 Estimates of the Energy Value from Chemical Characteristics of the Feedstuffs. **Brazilian**
- 1963 **Journal of Animal Science**, v. 30, p. 1837-11856, 2001.
- 1964 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000700022>
- 1965
- 1966 CHARLIER, J.; HOGLUND, J.; MORGAN, E. R.; GELDHOF, P.; VERCRUYSSSE, J.;
- 1967 CLAEREBOU, E. Biology and Epidemiology of Gastrointestinal Nematodes in Cattle.
- 1968 **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 36, p. 1-15, 2020.
- 1969 <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.001>
- 1970
- 1971 CHARLIER, J.; THAMSBORG, S. M.; BARTLEY, D. J.; SKUCE, P. J.; KENYON, F.;
- 1972 GEURDEN, T.; HOSTE, H.; WILLIAMS, A. R.; SOTIRAKI, S.; HOGLUND, J.;

- 1973 CHARTIER, C.; GELDHOF, P.; DIJK, J. V.; RINALDI, L.; MORGAN, E. R.;
 1974 SAMSOM-HIMMELSTJERNA, G. V.; VERCROYSSSE, J.; CLAEREBOU, E. Mind
 1975 the gaps in research on the control of gastrointestinal nematodes of farmed ruminants and
 1976 pigs. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 65, p. 1-18, 2017. DOI:
 1977 10.1111/tbed.12707
 1978
 1979 ENRÍQUEZ, D. H.; UNGERFELD, R.; QUINTANS, G.; GUIDONI, A. L.; HOTZEL,
 1980 M. J. The effects of alternative weaning methods on behaviour in beef calves. **Livestock**
 1981 **Science**, v. 128, p. 20-27, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.007>
 1982
 1983 HOFFMANN, R. P. **Diagnóstico de parasitismo veterinário**. Porto Alegre: Sulina,
 1984 1987. 156p.
 1985
 1986 LAZZARINI, I.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C. B.; PAULINO, M. F.; VALADARES
 1987 FILHO, S. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, F. A. Intake and digestibility in cattle fed
 1988 low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Brazilian**
 1989 **Journal of Animal Science**, v. 38, p. 2021-2030, 2009. [https://doi.org/10.1590/S1516-](https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001000024)
 1990 35982009001000024
 1991
 1992 LYNCH, E. M.; McGEE, M.; DOYLE, S.; EARLEY, B. Effect of pre-weaning
 1993 concentrate supplementation on peripheral distribution of leukocytes, functional activity
 1994 of neutrophils, acute phase protein and behavioural responses of abruptly weaned and
 1995 housed beef calves. **BMC Veterinary Research**, v. 8, p. 1–11, 2012. DOI:
 1996 10.1186/1746-6148-8-1
 1997

- 1998 MACHADO, V. S.; BICALHO, M. L. S.; PEREIRA, R. V.; CAIXETA, L. S.; KNAUER,
1999 W. A.; OIKONOMOU, G.; GILBERT, R. O.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable
2000 trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health
2001 and, production <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.02.022> of lactating Holstein cows.
2002 **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 451-456, 2013.
2003
- 2004 MANZANO, R. P.; PATERSON, J.; HARBAC, M. M.; LIMA FILHO, R. O. The effect
2005 of season on supplemental mineral intake and behavior by grazing steers. **The**
2006 **Professional Animal Scientist**, v. 28, p. 73–81, 2012. [https://doi.org/10.15232/S1080-](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30317-X)
2007 [7446\(15\)30317-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30317-X)
2008
- 2009 MATTIOLI, G. A.; ROSA, D. E.; TURIC, E.; TESTA, J. A.; LIZARRAGA, R. M.;
2010 FAZZIO, L. E. Effect of Injectable Copper and Zinc Supplementation on Weight,
2011 Hematological Parameters, and Immune Response in Pre-weaning Beef Calves.
2012 **Biological Trace Element Research**, v. 189, p. 456-462, 2019. DOI: 10.1007/s12011-
2013 018-1493-9
2014
- 2015 NRC. Nutrition Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised
2016 edition. The National Academies of Sciences, Washington, DC, 2001.
2017
- 2018 PALOMARES, R. A.; HURLEY, D. J.; BITTAR, J. H. J.; SALIKI, J. T.; WOOLUMS,
2019 A. R.; MOLIERE, F.; HAVENGA, L. J.; NORTON, N. A.; CLIFTON, S. J.; SIGMUND,
2020 A. B.; BARBER, C. E.; BERGER, M. L.; CLARK, M. J. Effects of injectable trace
2021 minerals on humoral and cell-mediated immune responses to Bovine viral diarrhea virus,
2022 Bovine herpes virus 1 and Bovine respiratory syncytial virus following administration of

- 2023 a modified-live virus vaccine in dairy calves. **Veterinary Immunology and**
 2024 **Immunopathology**, v. 178, p. 88-98, 2016.
 2025 <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2016.07.003>
 2026
- 2027 RANCHES, J.; DE OLIVEIRA, R. A.; VEDOVATTO, M.; PALMER, E. A.; MORIEL,
 2028 P.; SILVA, L. D.; ZYLBERLICHT, G.; DROUILLARD, J. S.; ARTHINGTON, J. D.
 2029 Low moisture, cooked molasses blocks: A limited intake method for supplementing trace
 2030 minerals to pre-weaned calves. **Animal Feed Science and Technology**, v. 273, p. 1-12,
 2031 2021. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114793>
 2032
- 2033 TEIXEIRA, A. G. V.; LIMA, F. S.; BICALHO, M. L. S.; KUSSLER, A.; LIMA, S. F.;
 2034 FELIPPE, M. J.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace mineral supplement
 2035 containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of
 2036 dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1-11, 2014.
 2037
- 2038 TOMASI, T.; VOLPATO, A.; PEREIRA, W. A. B.; DEBASTIANI, L. H.; BOTTARI,
 2039 N. B.; MORSCH, V. M.; SCHETINGER, M. R. C.; LEAL, M. L. R.; MACHADO, G.;
 2040 SILVA, A. S. Metaphylactic effect of minerals on the immune response, biochemical
 2041 variables and antioxidant status of newborn calves. **Journal of Animal Physiology and**
 2042 **Animal Nutrition**, v. 102, p. 1-6, 2018. DOI: 10.1111/jpn.12890
 2043
- 2044 VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: carbohydrate
 2045 methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. **Journal of Dairy**
 2046 **Science**, v. 74, p. 3583–3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
 2047

2048 VEDOVATTO, M.; PEREIRA, C. S.; CORTADA NETO, I. M.; MORIEL, P.; MORAIS,
2049 M. G.; FRANCO, G. L. Effect of a trace mineral injection at weaning on growth,
2050 antioxidant enzymes activity and immune system in Nellore Calves. **Tropical Animal**
2051 **Health and Production**, v. 52, p. 881-886, 2020. DOI: 10.1007/s11250-019-02056-0

2052 **Tabela 1.** Composição química das pastagens durante período experimental

Ítems ¹	Experimento 1							
	Lote 1				Lote 2			
	d-14	d0	d28	d56	d-14	d0	d28	d56
MS (g/kg)	313,3	325,6	333,5	363,2	336,3	326,6	353,2	413,2
<i>g/kg de MS</i>								
PB	79,5	67,2	63,9	43,5	74,4	62,1	46,4	41,3
FDN	654,1	698,6	666,3	727,2	642,3	712,6	683,2	738,2
FDA	331,8	372,1	315,4	382,3	315,4	409,5	402,3	432,4
EE	11,3	13,6	13,1	13,3	13,1	12,9	12,1	12,9
MM	85,8	91,4	93,4	93,1	93,4	94,5	110,3	98,8
CNF	169,3	129,2	163,3	122,9	176,8	117,9	148,0	108,8
NDT	513,2	478,0	498,2	448,5	518,8	466,4	479,2	440,1

2053 ¹MS, matéria seca; PB, proteína bruta; FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em
 2054 detergente ácido; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos (100–(Cinzas + PB
 2055 + FDN + EE); NRC, 2001); MM, matéria mineral (cinzas)); NDT, nutrientes digestíveis
 2056 totais (91,6086 – 0,669233 x FDN + 0,437932 x PB); Cappelle et al., 2001).

2057 **Tabela 2.** Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o desempenho de
 2058 bezerros de corte (Experimento 1)

Itens ⁵	Tratamentos ¹		Médias ² Dia	EPM ³	P-value ⁴		
	SALINA	MMI			Trat	Dia	Trat × dia
PC, kg					0,7298	<0,0001	0,4893
d-14	169,64	171,05	170,34 ^D	9,70			
d0	173,90	174,97	174,44 ^B	9,70			
d28	171,49	172,71	172,10 ^C	9,70			
d56	174,20	177,54	175,87 ^A	9,70			
GMD, kg/d							
d-14 ao d0	0,305	0,280	-	0,06	0,7674		
d0 ao d28	-0,086	-0,080	-	0,03	0,9116		
d28 ao d56	0,097	0,172	-	0,04	0,2361		
d-14 ao d56	0,065	0,093	-	0,02	0,3908		

2059 ¹Tratamentos: SALINA, injeção de solução salina 0,9 % de NaCl (1 mL/45 kg de PC),
 2060 MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC; Multimin 90, Multimin, Fort Collins,
 2061 CO, USA).

2062 ²São apresentadas médias por dia quando o P-value para Dia é < 0,05 e Trat × dia > 0,05.

2063 ³Erro padrão da média.

2064 ⁴Trat, efeito de tratamento; Dia, efeito de dia; Trat × dia, interação entre tratamento e dia.

2065 ⁵PC, peso corporal; GMD, ganho médio diário.

2066 **Tabela 3.** Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre o desempenho bezerros
 2067 de corte (Experimento 2)

Itens ⁵	Tratamentos ¹		Médias ² Dia	EPM ³	P-value ⁴		
	SALINA	MMI			Trat	Dia	Trat × dia
PC, kg					0,6762	<0,0001	0,5985
d-14	205,59	201,17	203,38 ^C	4,89			
d0	213,95	210,37	212,16 ^B	4,89			
d28	216,09	210,71	213,40 ^B	4,89			
d56	216,80	213,85	215,33 ^A	4,89			
GMD, kg/d							
d-14 ao d0	0,597	0,657	-	0,06	0,5338		
d0 ao d28	0,076	0,012	-	0,04	0,2704		
d28 ao d56	0,026	0,112	-	0,04	0,1740		
d-14 ao d56	0,267	0,302	-	0,04	0,5343		

2068 ¹Tratamentos: SALINA, injeção de solução salina 0,9 % de NaCl (1 mL/45 kg de PC),
 2069 MMI, microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC; Multimin 90, Multimin, Fort Collins,
 2070 CO, USA).

2071 ²São apresentadas médias por dia quando o P-value para Dia é < 0,05 e Trat × dia > 0,05.

2072 ³Erro padrão da média.

2073 ⁴Trat, efeito de tratamento; Dia, efeito de dia; Trat × dia, interação entre tratamento e dia.

2074 ⁵PC, peso corporal; GMD, ganho médio diário.

2075 **Tabela 4.** Efeito da aplicação de microminerais injetáveis sobre a contagem de OPG de
 2076 bezerros de corte (Experimento 2)

Itens ⁵	Tratamentos ¹		Médias ² Dia	EPM ³	P-value ⁴		
	SALINA	MMI			Trat	Dia	Trat × dia
OPG	2,30 (389,81)	2,30 (406,96)		0,08	0,9602	0,0475	0,6601
OPG (d-14)	2,19 (350,88)	2,23 (381,52)	2,12 (366,19)	0,08			
OPG (d56)	2,38 (428,55)	2,42 (432,43)	2,40 (430,49)	0,08			

2077 ¹Tratamentos: SALINA, injeção de solução salina 0,9 % NaCl (1 mL/45 kg de PC), MMI,
 2078 microminerais injetáveis (1 mL/45 kg de PC; Multimin 90, Multimin, Fort Collins, CO,
 2079 USA).

2080 ²São apresentadas médias por dia quando o P-value para Dia é < 0,05 e Trat × dia > 0,05.

2081 ³Erro padrão da média.

2082 ⁴Trat, efeito de tratamento; Dia, efeito de dia; Trat × dia, interação entre tratamento e dia.

2083 ⁵OPG, Ovos por grama de fezes.

2084 **CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE**

2085

2086

2087 A aplicação de MMI em bezerros de corte 14 dias pré-desmame proporcionou
2088 pequenas alterações hematológicas, com tendência de aumento na concentração de
2089 hemácias no dia do desmame e aumento na concentração de plaquetas 7 dias pré-
2090 desmame, todavia, associados a redução no VCM e tendência de redução no HCM, além
2091 de menores níveis de plaquetas 14 dias pós desmame. Essas alterações estão
2092 possivelmente associadas a um aumento temporário na mobilização hepática de Fe,
2093 limitando a disponibilidade desse elemento para as hemácias. Embora a aplicação de
2094 MMI tenha proporcionado estes efeitos adversos, os valores de VCM e HCM estiveram
2095 abaixo das faixas de valores consideradas normais em ambos os tratamentos
2096 experimentais, evidenciando um problema crônico associado com o ambiente
2097 experimental.

2098 A aplicação de MMI não proporcionou alterações no leucograma de bezerros
2099 suplementados, não demonstrando evidências de melhoria no sistema imunológico dos
2100 bezerros, corroborando com a falta de efeito sobre o OPG dos animais suplementados.

2101 Não foi observado efeito dos MMI no desempenho produtivo (PC, GMD ou
2102 alteração do PC) em nenhum dos experimentos, todavia, os baixos desempenhos obtidos
2103 em ambos os experimentos podem indicar a ocorrência de limitações nutricionais
2104 relevantes, que podem ter limitado os efeitos dos MMI sobre a resposta imune e
2105 desempenho dos animais.

2106 Esses resultados demonstram que a aplicação de MMI em animais na fase de
2107 desmame, quando submetidos a condições nutricionalmente limitantes, apresenta efeitos
2108 reduzidos sobre a saúde e desempenho dos animais.