

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

BRUNA MOREIRA MAIOLI

**Nutrição de cordeiros com propionato de cromo e seus efeitos no
metabolismo, desempenho e qualidade de carne**

Pirassununga

2024

BRUNA MOREIRA MAIOLI

Nutrição de cordeiros com propionato de cromo e seus efeitos no metabolismo, desempenho e qualidade de carne

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientadora: Profa. Dra. Sarita Bonagurio Gallo

Pirassununga

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M227n Maioli, Bruna Moreira
 Nutrição de cordeiros com propionato de cromo e
 seus efeitos no metabolismo, desempenho e qualidade
 de carne / Bruna Moreira Maioli ; orientadora
 Sarita Bonagurio Gallo. -- Pirassununga, 2024.
 75 f.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e
 Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

 1. Nutrição de ruminantes. 2. Desempenho animal.
 3. Qualidade de carne. 4. Sistema imunológico. I.
 Gallo, Sarita Bonagurio, orient. II. Título.



Comissão de Ética no Uso de Animais

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Efeito da dieta materna com suplementação de propionato de cromo nas características de carcaça, carne e gênicas da progênie", protocolada sob o CEUA nº 3126111220 (ID 009018), sob a responsabilidade de **Sarita Bonagurio Gallo e equipe; Daniela Lázara de Almeida** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (CEUA/FMVZ) na reunião de 16/09/2021.

We certify that the proposal "Effect of maternal diet with chromium propionate supplementation on carcass, meat and gene characteristics of the progeny", utilizing 120 Ovines (males and females), protocol number CEUA 3126111220 (ID 009018), under the responsibility of **Sarita Bonagurio Gallo and team; Daniela Lázara de Almeida** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo) (CEUA/FMVZ) in the meeting of 09/16/2021.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **01/2021** a **12/2022** Área: **Nutrição E Produção Animal**

Origem:	Setor de pequenos ruminantes do Campus de Pirassununga da USP e CBRA			
Espécie:	Ovinos	sexo: Fêmeas	idade: 2 a 4 anos	N: 60
Linhagem:	cruzas		Peso: 40 a 90 kg	
Origem:	Setor de pequenos ruminantes do Campus de Pirassununga da USP e CBRA			
Espécie:	Ovinos	sexo: Machos e Fêmeas	idade: 1 a 150 dias	N: 60
Linhagem:	cruzas		Peso: 3 a 45 kg	

Local do experimento: Setor de Ovinos da Prefeitura do Campus Fernando Costa, da USP. A eutanásia dos cordeiros machos será no Abatedouro Escola do Campus Fernando Costa, da USP. A carcaça será usada para estudo da qualidade da carcaça e carne. As cordeiras nascidas serão mantidas no Setor de Ovinos da Prefeitura do Campus Fernando Costa, da USP.

São Paulo, 17 de setembro de 2021

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna
Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

Camilla Mota Mendes
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autora: MAIOLI, Bruna Moreira

Título: Nutrição de cordeiros com propionato de cromo e seus efeitos no metabolismo, desempenho e qualidade de carne

Dissertação apresentada à
Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção
do título de Mestre em Ciências do
programa de Pós-Graduação em
Zootecnia

Data: 14/03/2024

Banca examinadora

Profa. Dra. Sarita Bonagurio Gallo

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Profa. Dra. Renata Maria Consentino Conti

Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Profa. Dra. Eliane Sayuri Myagi

Instituição: Universidade Federal de Goiás

DEDICATÓRIA

À Deus, que sobre todas coisas e caminhos, sempre esteve à frente de tudo e a minha mãe (*in memoriam*) que ao lado do Senhor e de Maria rezou pela minha vida todos os dias para que eu pudesse cumprir o que já estava escrito.

“Ele fortalece o cansado e dá grande vigor ao que está sem forças. Até os jovens se cansam e ficam exaustos, e os moços tropeçam e caem, mas aqueles que esperam no SENHOR renovam as suas forças. Voam alto como águias, correm e não ficam exaustos, andam e não se caem. (Isaías 40:29-31).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Sempre em primeiro lugar a Deus, que preparou essa etapa para que eu pudesse viver momentos incríveis, por ter me guiado, por ter me dado todo suporte e amparo. Obrigada meu Deus e sua mãe Santíssima Maria.

À minha orientadora Sarita Bonagurio Gallo pela sua paciência, carinho e dedicação comigo neste processo. Sua orientação foi maravilhosa e saiba que deixou um ensinamento fantástico. Muito obrigada professora, por me receber e me ensinar que a vida tem seus problemas, mas que somos capazes de resolver todos.

Ao meu pai Marco Antônio Maioli e minha irmã Beatriz Moreira Maioli, por estarem ao meu lado sempre.

Ao meu noivo, Ênio Maria Ferreira da Costa, que dedicou sua vida e seu trabalho para me amparar em todos os processos da nossa vida juntos até aqui, e espero passar o resto da minha vida com você ao meu lado. Muito obrigada por ser quem você é!

Aos amigos que fiz aqui em Pirassununga, principalmente as meninas do laboratório: Daniela, Flávia e Amanda. Obrigada pela amizade de vocês, pelo apoio e por toda ajuda durante esse processo.

Aos meus estagiários, principalmente a Mariana Gudrun, que foi meu braço direito durante o confinamento, tornou os dias mais descontraídos e sempre esteve presente em todo processo com muito interesse em participar e aprender, sua dedicação foi incrível.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto de pesquisa (2020/06433-0).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Minha eterna gratidão a todos vocês.

RESUMO

MAIOLI, B. M. **Nutrição de cordeiros com propionato de cromo e seus efeitos no metabolismo, desempenho e qualidade de carne.** 2024. 75 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2024.

O cromo (Cr^{3+}) é um micromineral orgânico que atua como potencializador da insulina metabolizando lipídeos e glicose. A suplementação de Cr pode beneficiar o desempenho e a saúde animal. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de duas doses suplementares na forma de propionato de cromo, sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade de carne, e sua interação com os minerais presentes no sangue, músculo e osso. O experimento ocorreu no Galpão de Digestibilidade e Metabolismo do Departamento de Zootecnia na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, no campus de Pirassununga, São Paulo. Foram utilizados 29 cordeiros machos sem padrão racial definido divididos em 3 tratamentos: CTL – sem adição de cromo, Cr0,5 – 0,5 mg/kg de MS de propionato de Cr e Cr1,5 – 1,5 mg/kg de MS de propionato de Cr. No período de 64 dias de confinamento, foram coletadas as informações para desempenho e sangue para as avaliações de parâmetros bioquímicos e hemograma. No abate houve coleta de dados para avaliar as características de carcaça e carne, peso de vísceras e fêmur para densidade óssea. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, comparou as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Houve efeitos em relação ao consumo ($P < 0,0001$) e a eficiência alimentar ($P = 0,0002$). Na concentração de minerais na carne, houve interferência do Cr ($P = 0,0341$). Para os parâmetros bioquímicos sanguíneos, foi observado diferença estatística significativa no colesterol ($P = 0,0023$), na fosfatase alcalina ($P = 0,0274$) e na concentração de fósforo ($P = 0,0213$). Para as respostas imunológicas observou-se que o Cr melhorou os parâmetros de leucócitos totais ($P = 0,0126$), linfócitos ($P = 0,0476$) e monócitos ($P = 0,0058$). Não foi observado efeito do Cr em relação as características de carcaça, proporção dos cortes comerciais, qualidade de carne, peso de vísceras e densidade óssea. Em relação aos parâmetros bioquímicos e imunidade dos cordeiros, a melhor dose a ser considerada é a de 0,5 mg/kg de MS de propionato de cromo.

Palavras chaves: Minerais; densidade óssea; metabólitos plasmáticos; imunidade.

ABSTRACT

MAIOLI, B. M. **Nutrition of lambs with chromium propionate and its effects on metabolism, performance and meat quality.** 2024. 75 f. Dissertation (master's degree) – Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2024.

Chromium (Cr³⁺) is an organic trace mineral that acts as an insulin enhancer by metabolizing lipids and glucose. Cr supplementation may benefit animal performance and health. The aim of this study was to evaluate the effects of two additional doses in the form of chromium propionate on performance, carcass characteristics and meat quality, and their interaction with minerals present in bone, muscle and blood. The experiment took place in the Digestibility and Metabolism Shed of the Department of Animal Science at the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo, on the campus of Pirassununga, São Paulo. A total of 29 uncastrated male lambs with no defined pattern were divided into 3 treatments: CTL – no chromium added, Cr0.5 – 0.5 mg/kg Cr propionate DM and Cr1.5 – 1.5 mg/kg Cr propionate DM. During the 64 days confinement period, information for performance and blood were collected for the evaluations of biochemical parameters and blood count. At slaughter, data were collected to evaluate carcass and meat characteristics, viscera and femur weight for bone density. The experimental design was completely randomized with means compared by the Tukey test at 5% probability. There were effects in relation to consumption ($P < 0.0001$) and feed efficiency ($P = 0.0002$). In the concentration of minerals in the meat, there was interference of Cr ($P = 0.0341$). For blood biochemical parameters, a statistically significant difference in cholesterol was observed ($P = 0.0023$), alkaline phosphatase ($P = 0.0274$) and phosphorus concentration ($P = 0.0213$). For the immune responses, it was observed that Cr improved the parameters of total leukocytes ($P = 0.0126$), lymphocytes ($P = 0.0476$) and monocytes ($P = 0.0058$). No effect of Cr was observed in relation to carcass characteristics, proportion of commercial cuts, meat quality, viscera weight and bone density. Regarding the biochemical parameters and immunity of lambs, the best dose to be considered is 0.5 mg/kg of chromium propionate DM.

Keywords: Minerals; bone density; plasma metabolites; immunity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. <i>A ação da suplementação do cromo</i>	14
2.2. <i>Doses de cromo e seus efeitos no desempenho animal</i>	17
2.3. <i>Efeitos do cromo nos parâmetros de carcaça e qualidade de carne</i>	20
2.4. <i>Suplementação de cromo e seus efeitos na densidade óssea e na concentração de minerais</i>	25
3. OBJETIVO	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. <i>Local, animais e tratamento experimental</i>	28
4.3. <i>Desempenho do animal</i>	31
4.4. <i>Abate, mensurações na carcaça e coleta de amostras</i>	31
4.5. <i>Cor, perda por cocção, força de cisalhamento e oxidação lipídica</i>	32
4.6. <i>Densidade Óssea</i>	34
4.7. <i>Análises bioquímicas e hemograma</i>	35
4.8. <i>Tratamento experimental e análise estatística</i>	36
5. RESULTADOS	37
5.1. <i>Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne</i> ...	37
5.2. <i>Características morfológicas do fêmur e concentração de minerais no osso, carne e no sangue</i>	45
5.3. <i>Parâmetros sanguíneos e hemograma</i>	48
6. DISCUSSÃO	51
6.1. <i>Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne</i> ...	51

6.2. Características morfológicas do fêmur e concentração de minerais no osso, na carne e no sangue	53
6.3. Parâmetros sanguíneos e hemograma	56
7. CONCLUSÃO.....	58
8. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

Os ovinos foram uma das primeiras espécies domesticadas pelo homem, sua criação disponibiliza produtos como carne, leite e lã, e, está praticamente presente em todos os continentes por conta da sua alta adaptabilidade a diferentes climas, relevos e vegetações (GARIBALDI & VIANA, 2008).

Para acompanhar a crescente produção de carne, é preciso utilizar de métodos intensivos como o uso de confinamentos (BUENO et al., 2000). A utilização do confinamento de cordeiros traz benefícios como velocidade do acabamento, conversão alimentar, qualidade genética, nutrição e mercado demandador de carne de qualidade e um valor comercial agregado, obtendo assim um ciclo de ganho econômico nesse tipo de produção (BARROS, 2008). As dietas de confinamento podem ter alto teor de energia e por isso o cromo vem sendo estudado como um potencializador, auxiliando nos mecanismos que aumentem o aproveitamento energético das dietas que são ofertas aos animais (LEIVA et al., 2018; VINCENT, 2001). Na sua forma orgânica, biodisponível como propionato de cromo, ele potencializa o uso da glicose que circula no sangue, melhorando o efeito da insulina no tecido (VINCENT & LOVE, 2012).

O interesse em utilizar o Cr na suplementação animal, é em relação aos inúmeros benefícios que o micromineral têm, atuando como modificador metabólico, melhorando as respostas imunes e tendo um papel muito importante no desempenho e qualidade de carne (CHANG & MOWAT, 1992; MOONSIE-SHAGEER & MOWAT, 1993; DEPEW et al., 1998). Na sua forma trivalente (Cr^{3+}) faz parte de um composto organometálico do fator de tolerância à glicose (GTF), isso faz com que facilite a interação entre a insulina e seus receptores nos tecidos, potencializando sua atividade e aumentando o transporte da glicose para dentro da célula (ANDERSON & KOZLOVSKY, 1985).

Normalmente o cromo é usado em dietas para fases críticas como final de gestação, lactação e terminação (DALLAGO et al., 2016; GHORBANI et al., 2012). Ainda não há exigência definitiva da suplementação micromineral estabelecida para ruminantes (VINCENT, 2007).

Deste modo, objetivou-se avaliar os efeitos de doses de propionato de cromo sobre parâmetros bioquímicos, hemograma, desempenho, características

de carcaça e carne, vísceras, densidade óssea e deposição de cromo no osso, sangue e músculo de cordeiros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A ação da suplementação do cromo

O interesse em estudar o cromo como suplemento dietético para os animais, tem como justificativa os diversos fatores positivos, como por exemplo, o aumento da imunoglobulina na fase de crescimento (CHANG & MOWAT, 1992), benefícios para os índices de desempenho, como aumento do consumo de matéria seca e do ganho médio diário em animais em fase de terminação (MOONSIE-SHAGEER & MOWAT, 1993), e melhores efeitos metabólicos (DEPEW et al., 1998), como diminuição dos valores de NEFA (ácido graxo não esterificado), insulina e glicose circulante (STAHLHUT et al., 2006).

O NRC (1997) cita que os animais respondem mais favoravelmente à suplementação de cromo quando expostos ao estresse, onde os níveis de cortisol sérico são reduzidos à medida que aumenta a suplementação. Isso acontece pois o estresse estimula o hipotálamo a produzir corticotrofina, que estimula a hipófise a produzir o hormônio adrenocorticotrófico, que por sua vez estimula o córtex adrenal a liberar corticosterona. Os corticoides deprimem o sistema imunológico e reduzem a concentração de proteínas séricas. Também elevam a glicemia e diminuem a utilização da glicose (BIN-JUMAH et al., 2020). O cortisol reage antagonicamente a insulina (MOREIRA et al., 2020), impedindo a entrada da glicose nos tecidos periféricos (músculo e gordura) e mobilizando para os tecidos de alta demanda (fígado e cérebro), aumentando a excreção do cromo pela urina (PAGAN et al., 1995).

Lashkari et al. (2018) concluíram que o cromo nas dietas de vacas leiteiras é usado para alterar a performance de respostas imunológicas, perfil oxidante, metabolismo de ácidos graxos e glicose, pois, esses fatores são influenciados pelo estresse, além disso, constataram que o consumo de matéria seca, produção e qualidade de leite aumentaram. Apesar de muitas evidências sobre os benefícios da suplementação com cromo, ainda há falta de resultados consistentes sobre a dose recomendada e seus efeitos positivos na produção animal (AMATA, 2013; HAMILTON et al., 2020).

O cromo (Cr^{3+}) é um micromineral orgânico essencial para o metabolismo de lipídeos e glicose, atuando como um potencializador da insulina na célula. O átomo de cromo, ajuda na relação entre a insulina e os receptores celulares dos tecidos, como o muscular, sendo assim, o cromo é caracterizado como um mensageiro químico, pois, ao se ligar nos receptores da superfície das células, ele estimula a célula a absorver a glicose para usar como combustível metabólico e para armazenar na forma de glicogênio (POLIZEL NETO et al., 2009)

Na sua forma orgânica, como propionato de cromo e picolinato de cromo, pode ser até dez vezes mais biodisponíveis que as fontes inorgânicas (AMATA, 2013; LASHKARI et al., 2018). Nos ruminantes, a absorção de cromo acontece no intestino, especificamente no jejuno, e, transportado pelo sangue ligado à transferrina e absorvido pelas células responsivas à insulina por endocitose, estimulada pelos receptores de transferrina (VINCENT, 2000). Além dessas duas fontes, o Cr orgânico é encontrado na forma de niacina ligada ao cromo, cromo-L-metionina, complexo cromo-ácido nicotínico, levedura de cromo e quelato de cromo (ANDERSON & KOZLOVSKY, 1985).

O cromo (Cr) é um micromineral que naturalmente, principalmente sob a forma trivalente, em grande parte como minério de ferro-cromo (FeCr_2O_4). O cromo trivalente (+3) forma complexos estáveis tanto com orgânicos como ligantes inorgânicos (NRC, 1997). A cromodulina é a forma ativa do cromo envolvido na facilitação da ação da insulina, ela é um oligopeptídeo composto principalmente de glicina, cisteína, aspartato e glutamato (VINCENT, 2001). A urina é a principal via de excreção do cromo absorvido, o consumo de dietas ricas em carboidratos aumenta as concentrações de insulina no sangue aumenta e conseqüentemente a excreção urinária de cromo (OFFENBACHER et al., 1997).

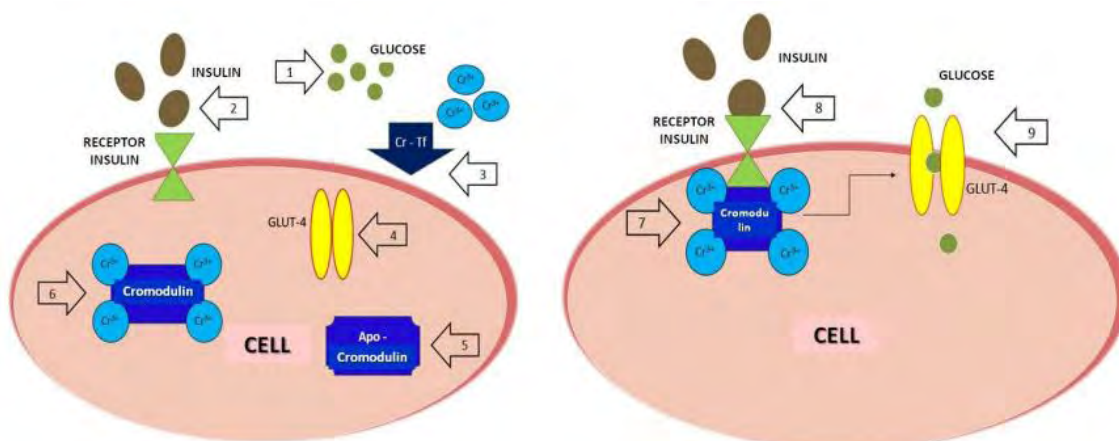
Em dietas com alta energia e com a presença do Cr, a insulina é liberada rapidamente na corrente sanguínea quando os níveis de açúcar no sangue aumentam e se ligam a uma subunidade externa do receptor de insulina da proteína transmembrana, provocando uma mudança na conformação do receptor. O receptor autofosforila resíduos de tirosina na porção interna de sua subunidade β , transformando o receptor em uma quinase ativa. A cromodulina é armazenada em sua forma Apo no citosol e no núcleo das células sensíveis à insulina. O cromo aperfeiçoa a ativação do receptor de insulina para que mais glicose entre na célula. Um máximo de quatro moléculas de cromo podem se

ligar a um receptor de insulina, levando a uma diferença de oito vezes na ativação do receptor de insulina (VINCENT, 2000).

O cromo tem sua ação no metabolismo energético ligando-se a um oligopeptídeo constituído pelo resíduo de quatro aminoácidos (glicina, cisteína, glutamato e aspartato), chamado de apocromodulina, localizada no ambiente intracelular. Juntos eles formam a cromodulina, um cofator para a ação insulínica (AMATA, 2013). A cromodulina estimula a atividade da Tirosina-quinase dos receptores de insulina da membrana plasmática, e então, quando um receptor se liga a uma molécula de insulina, ocorre a auto fosforilação da Tirosina-quinase, reação que vai desencadear a interação do receptor com os seus substratos, recrutando as proteínas envolvidas na transdução de sinais de absorção da glicose. A cromodulina, então, potencializa essa reação, amplificando a sinalização insulínica intracelular (LASHKARI et al., 2018; VINCENT, 2004). Este estímulo, é diretamente dependente da quantidade de Cr presente na cromodulina, que desempenha papel essencial nos adipócitos (YAMAMOTO et al., 1989).

Posteriormente, aumentando a ação dos receptores de insulina, o cromo mobiliza o transportador de glicose tipo 4 (GLUT 4) do interior da célula para sua superfície, permitindo que aumente a entrada de glicose na célula (Figura 1) (VINCENT, 2015). Com tudo, Chen et al. (1973) afirmam que a suplementação com o cromo amplifica a ativação dos canais de glicose pela insulina e conseqüentemente a sensibilidade celular à glicose e seu metabolismo energético. Além disso, o Cr pode aumentar a gliconeogênese por órgãos dependentes de insulina, como o tecido muscular e adiposo (WARD et al., 1997).

Figura 1. Mecanismo da atuação do cromo na célula.



Fonte: (Adaptado de Vincent, 2015).

As forrageiras possuem maior concentração de cromo quando comparadas com os grãos (ANDERSON et al., 1992), porém, com a presença de aminoácidos e alto teor de carboidratos nas dietas, a absorção do Cr aumenta (HUNT & STOECKER, 1996). As dietas que possuem alto teor de energia, têm maior concentração do propionato nos ruminantes (BAUMAN & GRIINARI, 2001), por ser um potente estimulador da liberação de insulina no sangue (QUIGLEY AND HEITMANN, 1991) o cromo desempenha o papel fundamental de potencializar a insulina circulante para o melhor aproveitamento do animal.

2.2. Doses de cromo e seus efeitos no desempenho animal

De acordo com o NRC (2007), o cromo possui funções essenciais no metabolismo de carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Dificilmente, em condições normais, pode ocorrer deficiência ou toxicidade, e as dietas, comumente atendem as quantidades necessárias para a manutenção da homeostase no organismo (VINCENT, 2010). Em dietas comerciais não é comum a mensuração do micromineral, e por isso, não é tão conhecida (LASHKARI et al., 2018), mas as exigências são diferentes de acordo com a fase de vida, animal e condições de estresse. Porém, o requerimento de Cr preciso para os ruminantes ainda não foi estabelecido.

Em uma revisão realizada por Lashkari et al., (2018), a suplementação de cromo para os ruminantes não tem um padrão definido em relação a dosagem e a unidade de expressão, mas o levantamento mostrou que as unidades mais usadas são kg/d, kg da MS/d, mg/animal/dia, mg/PV^{0,75}/dia e em ppm.

Kegley et al. (1997) sugeriram que a dosagem de 0,4 mg Cr/kg MS aumentou o metabolismo de glicose, sendo a mesma dosagem adotada pelo NRC (2000) como requisito para bovinos de corte. Para Amata (2013), a dosagem de 0,5 a 0,7 mg Cr/animal/dia diminui os efeitos do estresse, favorecendo a fase de crescimento de bovinos. Costa e Silva (2016), concluíram em uma meta-análise que a dosagem média de 1,11 mg Cr/kg MS é a ideal para bovinos de corte na fase de crescimento, sendo considerado um nível de toxicidade 50 mg/kg MS (MCDONALD et al., 2002).

Para cordeiros em terminação, as características de carcaça e carne foi linearmente melhores de acordo com a suplementação de cromo levedura, sendo 0, 1,2 e 3,0 mg Cr/animal/dia as dosagens (ESTRADA-ANGULO et al., 2013). Já Mahmoud & Zanouny (2018) suplementaram os cordeiros com cromo metionina, onde a dosagem de 3,0 mg Cr/animal/dia promoveu maiores valores de desempenho, concordando com Seifalinasab et al. (2022), concluíram que a dosagem de 3,0 mg Cr/kg MS (Cr-Met) não prejudicou os parâmetros sanguíneos dos animais.

A suplementação de 0,2 mg de propionato de cromo/kg MS teve efeitos positivos na composição do colostro de ovelhas, na programação fetal, nos parâmetros de desempenho e reprodução (BROCHINE et al., 2023; FERREIRA DOS SANTOS et al., 2022; GALLO et al., 2020). Para aumentar os conhecimentos sobre o assunto, o presente estudo estipulou doses acima do que já foi estudado, sendo considerado as dosagens de propionato de cromo (Kemin®) de 0,5 e 1,5 mg Cr/animal/dia em comparação ao controle, sem cromo adicional sobre as características de desempenho, características de carcaça e carne, densidade óssea e metabolismo de cordeiros alimentados com dieta de alta energia.

O cromo tem sua função de modificador metabólico e seus benefícios fisiológicos é voltado para animais em crescimento, já que as respostas positivas são na maioria das vezes em relação ao desempenho desses animais (LEIVA et al., 2015). Segundo Stoecker (1999), o GMD (ganho de peso médio diário) tem valores significativos nas dietas onde há suplementação, pois, o cromo está associado a um importante papel no metabolismo de carboidratos e proteínas, sendo capaz de melhorar a atividade insulínica. A insulina, melhora a síntese de proteínas, a eficiência do transporte de aminoácidos e a utilização dos carboidratos e lipídios, sendo assim, o Cr ajuda a poupar a utilização de energia nestes processos, podendo ser uma explicação para o GMD ser maior após a suplementação (HALDAR et al., 2009).

Nos monogástricos, como frango de corte, a suplementação com 2,0 mg/kg MS na dieta de cromo aumentou a performance de crescimento, e o rendimento de carcaça sob condições de estresse térmico (HUANG et al., 2016), porém, segundo Ognik et al. (2020), dosagens de 3 e 6 mg Cr/kg MS tanto de picolinato como nanopartículas de Cr, foi prejudicial para os parâmetros de

desempenho, onde diminuiu o desempenho e o rendimento de cortes comerciais.

Van Hoeck et al. (2020) concluíram que os tratamentos com 0,2 e 0,4 mg Cr/kg MS na fonte de propionato para frangos aumentaram o peso corporal do abate, a eficiência alimentar (EA), afirmando que o Cr pode ser incluído nas dietas dos animais a partir do primeiro dia de vida. Sendo a dosagem um fator muito importante a ser levado em consideração, uma meta-análise realizada por Feng et al. (2021) que estudaram o Cr na forma de picolinato e avaliaram a relação da suplementação com o desempenho de frangos de corte, afirmaram que a inclusão de até 1,8 mg Cr/kg MS obtém-se resultados positivos para desempenho.

Para suínos, a suplementação com cromo não houve alteração no ganho de peso (MOONEY & CROMWELL, 1997). Entretanto, Lien et al. (2001) concluíram que suínos suplementados com picolinato de cromo com doses de 0,2 e 0,4 mg/kg MS nas dietas em fases de crescimento e terminação, obtiveram valores maiores em relação ao desempenho de crescimento, GMD e consumo alimentar em comparação ao tratamento com 0 mg/kg de Cr-Pic. Li et al. (2013) avaliaram os efeitos do Cr-Met com dosagens de 0,3 a 0,9 mg/kg MS e perceberam que o CMS, GMD e a EA foram maiores conforme o aumento do nível de Cr.

Para os ruminantes, os resultados encontrados nas literaturas são muito variáveis, dependendo muito da fonte de Cr utilizada e principalmente, da dosagem. Em relação a novilhos da raça Angus, Kegley et al. (1997) e Bernhard et al. (2012) observaram aumento do GMD suplementados com 4 mg/kg MS de cromo-nicotinato, mas não houve efeito sobre o CMS e eficiência alimentar, bem como no peso final. Concordando com os resultados de Polizel Neto et al. (2009), que avaliaram o efeito do cromo em Nelore e F1 Brangus x Nelore com maiores valores para ganho de peso. Jamal et al. (2021) compararam os efeitos da suplementação do propionato de cromo comparado ao bicarbonato de sódio, sendo a dosagem de 1,5 mg Cr/animal/dia, e concluíram que o tratamento que foi utilizado os dois, aumentou o consumo de matéria seca, o GMD e a EA.

Em ovinos mestiços Sulffok x Dorper, a suplementação com cromo não teve efeito significativo sobre o GMD e peso ao abate (ARVIZU et al., 2011). Porém, cordeiros da raça Rambouillet alimentados com cromo, possuíram

efeitos positivos quanto ao desempenho (ARVIZU et al., 2011; DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009). Para Mousaie et al. (2014), a ingestão de MS e o GMD de ovinos confinados foram maiores nos tratamentos com suplementação de cromo. Brochine et al. (2023), apresentou parâmetros superiores quanto a peso inicial, peso de abate e consumo de matéria seca de cordeiros nascidos de mães suplementadas com propionato de cromo durante a programação fetal.

Lashkari et al. (2018), observaram que o Cr alterou o peso de carcaça e o desempenho do animal. Concordando com esses resultados, Moreno-Camarena et al. (2020) não encontraram diferença estatística quando incluíram Cr-levedura na dieta de cordeiros Rambouillet tanto para desempenho zootécnico quanto para características de carcaça, porém, a gordura perirrenal e intramuscular reduziu linearmente conforme a dose aumentou.

Mahmoud & Zanouny (2018) investigaram os efeitos de Cr-Met. Eles utilizaram doses de 1,5 e 3,0 mg Cr/animal/dia, e perceberam que não houve influência significativa sobre o CMS dos animais, mas, o GMD e a EA foram maiores, sendo a dosagem de 3,0 mg a que mais influenciou nas respostas fisiológicas, aumentando a proteína sérica, albumina e glicose circulante, sendo a conclusão dos autores à melhora no desempenho pelas alterações fisiológicas em resposta da suplementação com Cr. Seifalinasab et al. (2022) concluíram que os cordeiros expostos a estresse térmico, tiveram o CMS menor para ambas as doses comparadas (1,5 e 3,0 mg Cr/kg MS), porém, não observaram impactos negativos da alta dosagem sobre os parâmetros hematológicos dos animais e não prejudicou o desempenho. Já para Jin & Zhou (2022), não houve melhora significativa no desempenho dos cordeiros suplementados com a mesma forma de Cr.

2.3. Efeitos do cromo nos parâmetros de carcaça e qualidade de carne

Para Miller (1994), os parâmetros de qualidade são influenciados pela estrutura muscular, composição química, interações dos constituintes químicos, alterações no processo *post mortem*, estresse e fatores pré-abate, como transporte. E o que influencia na aceitação do consumidor no final da cadeia é a aparência do produto, da coloração, textura e sabor.

O pH da carne é um dos fatores mais importantes relacionado à qualidade da carne. A taxa de declínio durante a conversão do músculo em carne reflete

na intensidade do metabolismo *post mortem* (MATARNEH et al., 2017). O pH do músculo de mamíferos varia de 7,1 a 7,3 na hora do abate, e normalmente cai para 5,5 e 5,6 após 24 horas (PEARSON & YOUNG, 1989). A influência no pH da carne tem relação com a quantidade enzimática, tipo de fibra, e os status energéticos contribuem para a manutenção do turnover de ATP, e conseqüentemente, o andamento e extensão do metabolismo *post mortem*. Quando o músculo sofre uma queda no pH, chegando ao valor final maior que 6,0, a carne é considerada de coloração escura, firme e seca (DFD); a queda, está associada com as reservas limitadas de glicogênio, restringindo assim a capacidade muscular para realizar a *post mortem* glicólise (SCHEFFLER et al., 2011).

No caso de uma rápida queda no pH, com valor menor de 6,0 durante a primeira hora após o abate, esta rápida glicólise *post mortem* e temperatura muscular elevada, estão associadas com o desenvolvimento de uma carne pálida, mole e exsudativa (PSE) (MATARNEH et al., 2017). Em contrapartida, Scheffler et al. (2011) afirmaram que músculos com queda de pH estendida, apresentando taxas normais de pH no início do *post mortem*, mas continuam com pH final em torno de 5,3, resultando em uma carne ácida. Para Luseba (2001), a suplementação com cromo interferiu no pH da carne, portanto, têm efeito negativo sobre a à suculência e maciez da carne (ROÇA, 2001).

A cor é um dos parâmetros de qualidade mais importantes para o consumidor, pois visualmente, é a característica mais atrativa. A mioglobina é o pigmento responsável pela coloração da carne (ACTON & DAWSON, 2004). A mioglobina é uma proteína sarcoplasmática simples, solúvel em água e com capacidade de se ligar ao oxigênio e armazená-lo para o metabolismo aeróbico (LEHNINGER et al., 2002). Para Lawrie & Ledward (2014), a cor também pode ser influenciada pelo tipo de molécula e seu estado químico.

Outro fator importante que interfere na qualidade da carne e na sua aparência é a perda de água por gotejamento (JOO et al., 2013). Isso depende da capacidade de retenção de água (CRA) da carne, que por sua vez, está relacionada com a coloração da carne devido à sua perda de refletância na superfície (JOO et al., 1995). Quanto menos água for perdida durante o cozimento, menor será a concentração de proteínas das fibras musculares e, conseqüentemente, quanto maior a concentração de proteínas solúveis em

água, mais dura será a carne. A CRA influencia outras propriedades físicas, como textura e firmeza (JOO et al., 2013).

Para (JOO et al., 2013), a maciez da carne é uma característica muito importante relacionada à qualidade sensorial, pois influencia fortemente a aceitabilidade do consumidor. Ela é afetada principalmente pela quantidade e solubilidade de tecido conjuntivo, composição e propriedade contrátil de fibras musculares e também é afetada indiretamente pela gordura intramuscular. A quantidade de tecido conjuntivo está relacionada com características das fibras musculares devido a elas ocuparem 75 a 90% do volume muscular e também pela sua morfologia ser o principal determinante da massa muscular (LEE et al., 2010). O efeito da gordura intramuscular na maciez seria devido à diminuição da densidade da carne, com uma menor tensão entre as camadas de tecido conjuntivo, fazendo com que haja uma maior lubrificação da carne pelos lipídios e pela maior salivação proporcionada pela gordura (ALVES et al., 2005).

A maciez também está relacionada com a ativação das calpaínas. No músculo esquelético, duas proteases, μ -calpaína e m-calpaína, bem como seu inibidor, a calpastatina, a diminuição da expressão de calpaína ou o aumento da expressão de calpastatina estão associados a carnes mais duras (CORIA et al., 2020). A ativação das calpaínas é baseada no aumento da concentração de cálcio livre a partir do início do *rigor mortis*, com o declínio do pH, a atividade da μ -calpaína aumenta a sua atividade. Desta forma, esse sistema de proteases cálcio dependentes está relacionado com a concentração de cálcio no músculo, podendo alterar as atividades das enzimas e influenciar na maciez da carne (DRANSFELD, 1994).

O cálcio juntamente com a calmodulina, realiza muitos processos celulares como a associação a enzimas como quinases e fosfatases, síntese e secreção de hormônios pela tireóide, secreção celular e processos de contração muscular (WALSH, 1994). Mac Neil et al. (1987) observaram em um ensaio *in vitro* que o Cr na forma trivalente pode ativar a calmodulina. Segundo Luseba (2001), se o Cr tem a capacidade de ativar a calmodulina, que está envolvida com processos que são moderados pelo cálcio e também atua no metabolismo de lipídios, conseqüentemente influência nas características qualitativas da carne, principalmente em relação a maciez.

Bernhard et al. (2012) sugeriram que a suplementação de cromo durante a fase de terminação pode aumentar a captação de glicose pelos tecidos e aumentar a sensibilidade à insulina, potencializando a síntese de proteínas nos músculos. Em dietas onde cordeiros receberam Cr na forma de levedura, o valor do peso da carcaça (PC) quente e fria e a área da 12^a costela aumentaram linearmente, acontecendo o oposto com a gordura (g/kg PC) e gordura retida (kg), sendo assim, a suplementação do micromineral pode melhorar a qualidade da carne de cordeiros (DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009). De acordo com Estrada-Angulo et al. (2013), ao incluírem Cr levedura nas dietas de alto valor energético para cordeiros em terminação, observaram aumento na AOL, no peso de carcaça quente e no rendimento de cortes.

Em aves de corte submetidas a estresse térmico, a suplementação com o Cr (propionato, picolinato e cloreto) o percentual de gordura abdominal reduziu, mas a gordura intramuscular do peito permaneceu a mesma e a perda por cocção foi menor, sendo concluído pelos autores que o Cr independente da fonte, melhorou o desempenho e as características da carcaça e carne (HUANG et al., 2016).

Já Li et al. (2013) observaram que leitões suplementados com Cr-Met na fase de terminação diminuíram a AOL e a espessura de gordura subcutânea e intramuscular. Conforme a dose aumentou, a concentração de mioglobina também aumentou. Os autores concluíram que o Cr-Met promoveu efeitos positivos em relação à aparência da carne, mas, por conta da redução da gordura intramuscular, houve um efeito negativo na palatabilidade. Liu et al. (2023) também observaram redução na espessura de toucinho nos suínos suplementados com levedura de cromo.

Kitchalong et al. (1995), Uyanik (2001) e Zhou et al. (2013), observaram que cordeiros e ovelhas alimentados com picolinato, tricloreto e levedura de Cr, diminuem significativamente os valores de gordura abdominal e subcutânea. Já Rodríguez-Gaxiola et al. (2020) e Moreno-Camarena et al. (2020), encontraram redução no teor de gordura intramuscular de cordeiros suplementados com Cr-levedura.

Lashkari et al. (2018) concluíram que a redução é resultado de uma interação positiva entre os adipócitos com as concentrações de glicose e a menor capacidade dos seus tecidos de utilizá-la como fonte de carbonos para a

lipogênese, portanto, a redução da espessura de gordura sugere que a suplementação das dietas com cromo influencia na deposição de lipídios.

Já se sabe que o Cr reduz os efeitos do estresse em ruminantes e melhora o sistema imunológico (LASHKARI et al., 2018) . Além do seu papel no metabolismo de lipídios, carboidratos e proteínas, o Cr pode ser uma ferramenta metabólica para melhorar a qualidade de carne (OHH & LEE, 2005), concordando com Hashemian et al. (2020), onde concluíram que a suplementação de Cr orgânico melhorou a qualidade da carne reduzindo o acúmulo de gordura.

A gordura e os ácidos graxos de cadeia longa têm grande influência sobre a qualidade de carne, e principalmente, em relação a nutrição e aspectos sensoriais (WEBB & O'NEILL, 2008). A quantidade e o tipo de gordura manipulam a maciez e o sabor (LINDEMANN et al., 1995), por exemplo, os ácidos graxos insaturados (AGI) possuem a função de determinar o “flavour” da carne. Sendo assim, conforme aumenta as proporções AGI pode reduzir a estabilidade oxidativa dos lipídios, ajudando na deterioração da carne através da peroxidação lipídica, afetando assim as membranas fosfolipídicas e alterando a qualidade da carne (OLIVO, 2006).

Com relação às características sensoriais, a peroxidação lipídica causa sabor, cor e odor desagradáveis que afetam as preferências dos consumidores (BEZERRA et al., 2020). Quando acontece a peroxidação lipídica, o produto final liberado é o malondialdeído (MDA). Sua mensuração é feita através da utilização de substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS), que tem como produto final a concentração de MDA (VYNCKE, 1970). Lashkari et al. (2018) propuseram que o metabolismo da insulina afeta a peroxidação lipídica, e o Cr atua como cofator da insulina pode estar envolvido na homeostase, contribuindo para a manutenção dos antioxidantes. Para aves de corte, o Cr ao ser suplementado melhorou a qualidade da carne pois reduziu a peroxidação lipídica, reduziu a proporção e gordura (DALÓLIO et al., 2018).

Os efeitos do Cr sobre a melhor conformação de carcaça, tem sido relacionado com o seu papel no metabolismo de carboidratos e proteínas, pois, o Cr é conhecido por estimular algumas enzimas *in vitro* que são importantes na estrutura e metabolismo de ácidos nucleicos (WHITNEY & CATALDO, 1983). A insulina atua no metabolismo de carboidratos, lipídios e na homeostase da

glicose, mas, também é responsável por regular o metabolismo e a síntese proteica (FELIG, 1975). Segundo Wool (1972), existe efeito da insulina na redução sistêmica de aminoácidos circulantes e sua relação com a gliconeogênese, isso acontece pois o local de captação desses aminoácidos mediados pela insulina é o tecido muscular. Sendo assim, o Cr desempenha um papel importante na síntese proteica.

Os resultados infundados em relação aos efeitos positivos do Cr na nutrição animal são por conta das diferentes respostas de pesquisas, tendo relação provavelmente com a concentração do micromineral e sua quantidade nas dietas estudadas (LASHKARI et al., 2018).

2.4. Suplementação de cromo e seus efeitos na densidade óssea e na concentração de minerais

Os minerais desempenham funções como a participação nos componentes estruturais e tecidos corporais, atuam nos fluidos corporais como eletrólitos para a manutenção do equilíbrio acidobásico, na pressão osmótica, na permeabilidade das membranas celulares e ativadores de processos enzimáticos (TOKARNIA et al., 2000). O Brasil é um país que ainda possui grande parte de suas pastagens com baixa quantidade de minerais, mesmo assim, em algumas circunstâncias, a correção do pH do solo e a adubação podem aumentar a sua disponibilização. Porém, se o objetivo for suprir as necessidades dos animais, este manejo do solo ainda pode não ser suficiente sendo necessário fazer a oferta de minerais via suplementação (PEIXOTO et al., 2005).

O cálcio (Ca) está envolvido na coagulação sanguínea, ativação enzimática, permeabilidade celular, contração muscular, transmissão dos impulsos nervosos, regulação cardíaca e secreção de alguns hormônios. Quando em baixas concentrações no organismo, acontece a perda da função nervosa e muscular. Além disso, em caso de intoxicação por vitamina D, o cálcio entra no compartimento extracelular mais rapidamente do que sai, levando à deposição de cálcio nos tecidos moles e, eventualmente, à necrose dos tecidos (NRC, 2007). Para Pedreira et al. (2003), o cálcio é um mineral importante em relação à qualidade da carne, pois a enzima m-calpaína responsável pelo

relaxamento da fibra muscular (um dos processos de maciez da carne) é cálcio dependente.

O fósforo (P) é o mineral que está presente em todas as células do corpo, nos processos de transferência de energia com formação ou quebra de pontes de alta energia; ele tem sua importância na manutenção sanguínea e de outros fluidos corporais, participa da diferenciação celular e também faz parte dos componentes de parede celular (DURAND & KOMISARCZUK, 1988). É frequentemente encontrado combinado com o oxigênio como fosfatos inorgânicos ou orgânicos, tanto o transporte ativo quanto a difusão passiva são sugeridos como mecanismos de absorção de fosfato no intestino delgado (BERNER, 1997). O transporte ativo é um evento dependente de sódio que é promovido pelo metabólito ativo da vitamina D3. A difusão passiva, ocorre principalmente no jejuno e íleo e está diretamente relacionada com a ingestão de fósforo na dieta e as concentrações de fósforo no lúmen (DANISI & STRAUB, 1980).

O osso é um tecido de sustentação do corpo animal que tem como características a sua rigidez. Trata-se de um tecido altamente dinâmico e versátil, com funções de apoio mecânico, locomoção, proteção de órgãos e reserva de minerais, principalmente o cálcio que, por sua vez, apresenta funções estruturais e metabólicas (KONIG & LIEBICH, 2004; LHAMAS, 2016).

A formação óssea ocorre por meio de células e tecidos conjuntivos chamados de matriz óssea, constituída por colágeno tipo I, proteoglicanas e proteínas não colágenas. Ela possui também uma porção inorgânica. (JUNQUEIRA & CARNEIRO, 2004). Todo o processo de remodelação óssea tem como os osteócitos os essenciais para a manutenção da matriz óssea, os osteoclastos são responsáveis pela reabsorção e os osteoblastos sintetizam a parte orgânica da matriz. Todo esse processo de remodelamento tem início por estímulos mecânicos e hormonais, atuando como desencadeadores para iniciar o ciclo de remodelação óssea (LHAMAS, 2016). A parte externa do osso é revestida por uma membrana chamada periósteo e superfície interna pela membrana esdósteo. As mesmas têm função de nutrir o osso e servir como fonte de osteoblastos para a osteogênese (ISOLA, 2012).

A insulina atua em células do osso, inibindo a expressão do OPG (osteoprotegerina). Este, por sua vez, atua inibindo a ativação e maturação de

osteoclastos. Portanto a insulina, ao inibir o OPG, estimula a atuação de osteoclastos e conseqüentemente a reabsorção óssea. Contudo, existe um mecanismo de realimentação no qual o aumento da atividade dos osteoclastos provoca uma diminuição no pH, capaz de ativar as osteocalcinas. A expressão de osteocalcina é diretamente controlada a jusante do receptor de insulina por Runx2 (fator 2 do transcrito relacionado a Runt), um importante fator de transcrição associado à diferenciação de osteoblastos. O aumento de osteoblasto aumenta a deposição de cálcio no osso, reequilibrando a remodelação óssea. (DIGIROLAMO et al., 2012; FERRON et al., 2010).

Além da insulina, o hormônio da paratireóide pode desacoplar a reabsorção óssea da formação óssea, estimulando os mecanismos de reabsorção dos osteoclastos enquanto inibe a formação mediada pelos osteoblastos. Por fim, acontece um efluxo de cálcio do osso para os fluidos extracelulares. Quando o excesso de cálcio entra no sangue, outro hormônio, a calcitonina, produzido na glândula tireoide, é secretado, inibindo a reabsorção óssea e estimulando a excreção renal de cálcio (NRC, 2007).

Uma das áreas mais importantes de deposição mineral do corpo são os ossos, mas isso recebeu menos atenção na homeostase mineral suplementada com Cr. Saeed et al. (2017) estudaram a concentração de alguns minerais presente no osso em frangos de corte alimentados com cloreto de Cr, e concluíram que o Ca diminuiu linearmente conforme as doses foram aumentando, além disso, a diminuição do teor de cinzas mostra redução na mineralização dos ossos com o aumento da suplementação de Cr, isso pode ser devido a interação do Cr com Zn, Na, K e até certo ponto com Ca para sua mineralização; portanto, a diminuição da relação cinza/peso pode ser negativamente correlacionada com a resistência à fratura óssea.

A presença de Ca ósseo foi menor, podendo ter relação com a diminuição da atividade da fosfatase alcalina (enzima presente no tecido ósseo responsável pela maturação óssea da matriz) no sangue de aves de corte alimentadas por metionina de cromo (EBRAHIMZADEH et al., 2013). A suplementação com cloreto de Cr tem efeito potente na interação em sangue, músculo e osso, onde o zinco e o potássio diminuíram suas concentrações no sangue e no músculo, mas, aumentou no tecido ósseo (SAEED et al., 2017).

Contraopondo com esses resultados, Şahin et al. (1999) observaram que em dietas suplementadas com cromo para coelhos, o nível de Zn no sangue, músculo e vísceras foi maior. Lindemann et al. (1995) concluíram que as marrãs alimentadas com cromo tiveram o nível de potássio sérico crescente de acordo com as dosagens, portanto o cromo produziu respostas biológicas.

Experimentos realizados com ratos, concluíram que dietas com cromo influenciaram significativamente nos teores de minerais presentes nos tecidos, tais como baixa presença de cálcio e ferro a nível sérico e muscular, porém, a interação do cromo com outros minerais ainda não é compreendida (PRESCHA et al., 2014).

O mecanismo de interação do Cr com os outros minerais, ainda não é compreendido. Brochine et al. (2023) encontraram que na região da epífise de cordeiros oriundos de programação fetal de ovelhas suplementadas com Cr foi significativamente menor. Moreno-Camarena et al. (2020) concluíram que a concentração de do micromineral no osso foi maior para cordeiros alimentados com Cr-Met.

3. OBJETIVO

Avaliar os efeitos de duas doses suplementares na forma de propionato de cromo, sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade de carne, e sua interação com cálcio e fósforo presentes no sangue, músculo e osso na fase de terminação de cordeiros alimentados com dieta de alto valor energético.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local, animais e tratamento experimental

O experimento foi realizado no Galpão de Digestibilidade e Metabolismo do Departamento de Zootecnia na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, no campus de Pirassununga, São Paulo. Os animais foram mantidos em um galpão coberto, confinados em baias individuais com 2,5m², piso ripado, água à vontade, por um período experimental de 64 dias.

Utilizou 29 cordeiros machos, não castrados, em delineamento experimental inteiramente casualizado, sem padrão racial definido, recém desmamados com peso vivo inicial de 17 ± 9 kg e idade de 60 ± 10 dias. O

protocolo sanitário utilizado foi o Excell 10, vacina contra clostridiose (Laboratório Vencofarma, Londrina, Brasil) e anti-helmíntico oral Ripercol (à base de cloridrato de levamisol, Zoetis, Campinas, Brasil).

O tratamento experimental foi a suplementação com propionato de cromo, sendo o tratamento **CTL** (controle): sem suplementação dietética com cromo, **Cr0,5**: 0,5 mg de propionato de cromo/kg de matéria seca, **Cr1,5**: 1,5 mg de propionato de cromo/kg de matéria seca.

A dieta foi composta de 15% de volumoso (feno de capim *Tifton 85*) e 85% de concentrado à base de milho grão moído, farelo de soja, calcário calcítico e suplemento mineral, diferindo somente a inclusão de diferentes níveis ou não do propionato de cromo (Tabela 1). Os animais foram alimentados duas vezes ao dia, às 7h e 14 h. A dieta foi formulada para atender as recomendações nutricionais para cordeiros em terminação (NRC, 2007).

A fonte de Cr orgânico utilizada foi o propionato de cromo da empresa Kemim[®], com composição básica de carbono de cálcio, propionato de cromo, ácido propiônico, óleo mineral (parafina líquida), propileno glicol e formiato de cálcio, com níveis de garantia mínimo de 0,4 g/kg de cromo (4%).

Para o preparo da ração, o feno de capim *Tifton 85* passou por dois processos de moagem e ter tamanho de partícula de 2.5 cm. O propionato de cromo foi incorporado a 2 kg de milho moído separadamente e homogeneizado manualmente por 5 minutos para em seguida ser misturado com o restante da ração. A pesagem do Cr foi realizada por uma balança analítica (Scientech[®]) para maior precisão. Os ingredientes da dieta foram misturados em um misturador horizontal com hélices helicoidais com capacidade de 500 kg e para melhorar a homogeneidade na mistura dos alimentos, as batidas foram reduzidas à 250 kg por vez e misturados por 5 minutos.

A composição química da dieta foi realizada pelo método da AOAC (1980) Para MS (método 930.15), cinzas (método 942.05), matéria orgânica (MS – cinzas), extrato etéreo (EE; método 920.39) e PB (N × 6.25; método de Kjeldahl 984.13). A fibra em detergente neutro (FDN) foi determinada de acordo Van Soest (1991) e analisada utilizando-se α -amilase, fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (método 973.18) por sistema de filter bag (equipamento determinador de fibra TE-149; Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, Brasil). Os teores de cromo nos ingredientes foram estimados de acordo com

Caputi (2017) e os teores de cálcio e fósforo nos ingredientes foram estimados de acordo com a AOAC (1980) onde foi realizado a digestão via seca e em seguida a solução foi lida pelo Sistema de Espectrometria de plasma (ICPE-9000, Shimadzu, Japão).

Tabela 1. Composição química da dieta de cordeiro com diferentes suplementações de cromo.

Ingredientes, %	CTL	Cr0,5	Cr1,5
Feno de capim <i>Tifton 85</i>	15	15	15
Milho grão moído	61	61	61
Farelo de soja	20	20	20
Calcário calcítico	2	2	2
Suplemento mineral ¹	2	2	2
Propionato de cromo ²	0,0000	0,0005	0,0015
Nutrientes, %			
Matéria seca	90,21	90,01	90,28
Matéria mineral	6,16	5,88	6,13
Proteína bruta	15,09	15,60	15,15
Fibra em detergente neutro (FDN)	24,14	26,40	27,12
Fibra em detergente ácido (FDA)	13,56	16,02	15,01
Extrato etéreo	4,62	4,38	4,54
Cálcio	12,12	11,10	12,11
Fósforo	3,20	3,08	3,16
Cromo (ppm da MS)	2,89	3,98	4,50

¹ Tech'Foz Ovinos 60[®] - Rações Promilk Ltda (níveis de garantia por kg): Fósforo (mín) 60,00 g; Cálcio (mín) 150,00 g; Cobre (mín) 300,00 mg; Magnésio (mín) 12,00g; Enxofre (mín) 10,00 g; Sódio (máx) 150,00 g; Manganês (mín) 1.080,00 mg; Ferro (mín) 1.000,00 mg; Zinco (mín) 2.500,00 mg; Cobalto (mín) 40,00 mg; Iodo (mín) 50,00 mg; Selênio (mín) 10,00 mg.

² Kemin[®] - KemTRACE™ Cromo 0,04% Dry: carbono de cálcio, propionato de cromo, ácido propiônico, óleo mineral (parafina líquida), propilenglicol e formiato de cálcio, com níveis de garantia mínimo de 0,4 g/kg de cromo. CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg de propionato de cromo por animal/dia; Cr1,5: 1,5 mg de propionato de cromo por animal/dia.

A adaptação dos animais ao local e manejo alimentar foi feita durante três dias, onde receberam a dieta CTL. Os cordeiros tiveram o controle do oferecido

e da sobra do alimento individualmente e diariamente, a fim de garantir uma sobra de 10% do oferecido no dia anterior.

4.3. Desempenho do animal

Para mensurar o desempenho dos animais, eles foram pesados a cada 15 dias, sem jejum prévio, em balança eletrônica (Coimma®), com capacidade mínima de 10 kg e máxima de 300 kg, variação de 100 gramas.

O consumo de matéria seca (CMS) foi calculado pela diferença da sobra com o consumido, individualmente e diariamente. Para calcular o ganho médio diário (GMD) utilizado a fórmula: $GMD = \text{peso inicial} - \text{peso final} / \text{dias de confinamento}$. Para eficiência alimentar (E.A) é a divisão do GMD pelo CMS. Foram analisadas cada variável para desempenho em 15, 30, 45 e 64 dias de confinamento.

4.4. Abate, mensurações na carcaça e coleta de amostras

Antes do abate os cordeiros foram submetidos a jejum de sólidos por 16 horas, pesados, transportados para o Abatedouro-escola, por uma distância de 200 metros, em um caminhão para transporte de pequenos ruminantes.

O abate teve início com a insensibilização por pistola de pressão, e em seguida iniciou-se a sangria através do corte das principais veias e artérias jugulares. No processo de esfolagem, foi retirado o couro, as patas e cabeça, e na evisceração, foi retirada as vísceras do animal e colocadas em caixas identificadas para pesagem. Cada órgão foi pesado em uma balança de balcão (Filizola®, BP-15), separados por trato respiratório (pulmão e traqueia), coração, baço, pâncreas, fígado (juntamente com a vesícula biliar), rins e gordura dos rins. Em seguida, os intestinos e o rúmen foram levados a graxaria, onde foram pesados os intestinos vazios, a gordura abdominal e o rúmen vazio.

As carcaças foram lavadas, identificadas e pesadas quentes (30 minutos após o abate). Na altura da 12ª costela, onde encontra-se o músculo *Longissimus dorsi*, foi realizado um corte e mensurado o pH e a temperatura (0h *post mortem*) utilizando pHgâmetro digital (Akso®) calibrado para pH 7,0 e 4,0, em seguida, foram colocadas em uma câmara fria com 2 °C de temperatura. Após as 24 horas, o pH e a temperatura (24h *post mortem*) foram mensurados novamente utilizando o mesmo equipamento, além disso, elas foram pesadas

para determinação do peso de carcaça fria e avaliado a espessura de gordura subcutânea utilizando paquímetro digital (Luatek®), na região entre a 12° e 13° costela.

Durante a desossa, a carcaça foi dividida ao meio para os cálculos de rendimento dos cortes comerciais, então, foi selecionado a meia carcaça esquerda e realizado os cortes de pernil, paleta, costela juntamente com o pescoço e lombo onde foram pesados individualmente na mesma balança de balcão. No lombo foi realizado a mensuração de área de olho de lombo (AOL) utilizando um plástico transparente colocado em cima do lombo e feito o contorno da circunferência com uma caneta permanente, assim, sendo possível obter a medida A (sentido lateral) e a medida B (sentido dorsoventral), usadas para calcular AOL pela fórmula: $AOL = (A/2 \times B/2) \times 3,1416$ (CEZAR & SOUSA, 2007). O cálculo de rendimento de carcaça foi feito pela diferença do peso da carcaça pelo peso corporal do animal e a perda por resfriamento pela fórmula $PPR = [(PCQ - PCF) / PCQ] \times 100$.

4.5. Cor, perda por cocção, força de cisalhamento e oxidação lipídica

Amostras de bifes do músculo *Longissimus dorsi* foram retiradas entre a 12° e 13° costela para análises de qualidade de carne. Após serem identificadas com a numeração dos animais, foram embaladas em papel alumínio e guardadas em sacos de polietileno e congeladas a vácuo em temperatura de -20 °C. Cerca de três bifes, medindo aproximadamente 2,5 cm de espessura, foram separados para realizar as análises de cor, perda por cocção (PPC), força de cisalhamento (textura) e TBARS, e, 1 bife foi separado para realizar análise de minerais.

Antes de iniciar as avaliações, as amostras foram descongeladas de um dia para o outro em geladeira com 2 °C. Em seguida, as embalagens foram abertas e a carne foi exposta ao oxigênio por 30 minutos. Para analisar a cor, foi utilizado um colorímetro portátil MiniScan EZ (HunterLab®, 4500L), com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e abertura do obturador de 30 mm, previamente calibrado com os padrões preto e branco, operando no sistema CIE $L^*a^*b^*$ (CIE, 1986), usando o parâmetros L^* , que é o croma associado à luminosidade ($L^* = 0$ preto, 100 branco); a^* , que é o croma que varia do verde (-) ao vermelho (+); e o b^* , que varia do azul (-) ao amarelo (+). A avaliação de cor

foi realizada em três pontos distintos da amostra, tomando-se como a média das três leituras o valor da cor.

Para análise de perda por cocção (PPC), os bifes foram pesados antes de serem levados ao forno em uma balança (Shimadzu[®], BL3200H), para realização do cálculo: $PPC (\%) = ((\text{peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial}) \times 100$, onde o peso inicial é o peso da amostra antes de ser levada ao forno, e, o peso final é depois de assado no forno. As amostras foram colocadas em uma bandeja de alumínio e assadas em forno elétrico (Philco[®], PFE42P) pré aquecido a 180 °C. A temperatura interna da carne foi monitorada por um termopar (Gulton[®], 700-10S) até atingir 72 °C (AMSA, 1995). Após o processo de cozimento, a amostra foi mantida em temperatura ambiente até chegar a aproximadamente 24 °C. Em seguida, elas foram secas com toalha de papel, sem o líquido liberado e sem a bandeja, e pesadas, para assim, calcular a porcentagem de perda por cocção.

Para a análise de força de cisalhamento, a amostra já cozida foi cortada em formato paralelepípedo no sentido da fibra, com cerca de 2,5 cm de comprimento, 1 cm de largura e 1 cm de altura, foi medido o valor exato de largura e altura para serem utilizados no cálculo utilizando um paquímetro digital (Luatex[®]). Foram cortadas de 6 a 10 amostras, sendo elas descartadas se houvessem pedaços de tecido conjuntivo ou furos. O texturômetro utilizado foi o TA.TXplus[®] (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) acoplado à probe em formato de lâmina de aço inoxidável com ângulo de corte de 60° (lâmina para cisalhamento Warner-Bratzler), com espessura de 1,01 mm, comprimento de 64,94 mm e largura de 44,90 mm, movendo-se a uma velocidade de 4,00 mm/s na direção descendente, até romper a amostra na direção perpendicular às fibras. As velocidades de pré e pós-teste de 1,00 mm/s e a célula utilizada é de 50 kg. A força de cisalhamento (FC), expressa em kgf ou N, é determinada como a força máxima da curva gerada pelo *software* do equipamento. Este valor foi dividido pela área de corte da amostra (largura X altura): $FC = \text{força máxima (kgf ou N)} / \text{área (cm}^2\text{)}$ (AMSA, 1995).

A análise de oxidação lipídica (TBARS), primeiramente foi realizada a preparação das soluções dos ácidos TCA 7,5% (ácido tricloroacético) e TBA (ácido 2-tiobarbitúrico) conforme a metodologia de Vyncke (1970). Foram pesados em uma balança analítica (Shimadzu[®], AUY220) com peso máximo de

220 g e mínimo de 10 mg, 5 g de cada amostra e triturados em um processador de alimentos durante 2 minutos. Cada amostra foi analisada em triplicata, utilizando 3 béqueres de 1000 ml, 3 *Erlenmeyers* de 250 ml e 3 funis com papel filtro qualitativo de 150 mm de diâmetro. Foi adicionado à amostra, 25 ml da solução de TCA 7,5% com o auxílio de uma pipeta volumétrica em cada um dos béqueres (75 ml de TCA por amostra). Para facilitar a homogeneização, foi utilizado um turrax (Tecnal®) por 2 minutos em cada béquer, em seguida, foram filtrados nos *Erlenmeyers* e coletado 5 ml de cada amostra e colocando em tubos de ensaio identificados (duplicata). Após a adição do filtrado, foi adicionado 5 ml de TBA (30 ml de TBA por amostra) nos tubos, tampados e homogeneizados no vortex (agitador de tubos). Os tubos foram colocados em banho maria a 98 °C por 40 minutos com as tampas um pouco desrosqueadas para evitar que pegue pressão. Depois deste processo, as amostras foram resfriadas em água corrente e levadas para análise de absorvância no espectrofotômetro (Biospectro®, SP-22) ajustado para comprimento de ondas de 538 nm. Para obtenção da concentração de malonaldeído (MDA) nas amostras, a equação foi fornecida pela curva de TEP (Tetraetoxipropano) e os resultados foram expressos em µg de MDA/g.

4.6. Densidade Óssea

No dia da desossa, o pernil esquerdo foi desossado e o fêmur limpo e pesado em uma balança (Filizola®, BP-15), o comprimento foi medido com o auxílio de uma fita métrica milimetrada. Após a obtenção do peso e do comprimento do fêmur, foi realizado o cálculo do índice de Seedor, o qual serve como indicativo da densidade óssea, correspondendo ao peso do osso (mg), dividido pelo seu comprimento (mm): Índice de Seedor = peso do osso/comprimento do osso. (SEEDOR et al., 2009). Os fêmures foram embalados em papel alumínio com talco e armazenados em uma embalagem de polietileno, e assim, congelados a -20 °C.

Na sequência, o fêmur foi lavado e radiografado nas medidas dorso palmar e later medial utilizando a metodologia de Dias et al. (2021). A área de interesse para determinação da densidade óssea foi a diáfise e a epífise proximal. Para ambas as projeções, o osso foi posicionado em cima do cassete digital, o aparelho de raio-X ficou a uma distância de 100 centímetros e os feixes

de raios posicionados sobre o fêmur, sendo emitidas as ondas de raio X. Para a calibração do sistema de tonalidades e a determinação da densidade óssea, foi posicionada uma escala de alumínio na projeção. A escala possui 20 degraus, com diferença de 1 mm de altura entre eles, sendo que o 1º degrau possui 1 mm de altura e o 20º possui 20 mm. A técnica padronizada foi de 68 kV de tensão e 1,8, mAs de tempo de exposição. O aparelho de raio-X utilizado foi da Sound Eclin®, Carlsbad, EUA, e o emissor o JOB X – Ray®, 380 HF, Job do Brasil®, São Paulo, BR. Em seguida, as imagens foram salvas no formato JPG e analisadas pelo programa Image J®. Foi utilizado a ferramenta de seleção “ponto” para a área de cada degrau da escala de alumínio e aferiu-se a média de tons de cinza que poderiam variar de 0 (totalmente negro) a 256 (totalmente branco). A sequência é realizada do 1º ao 20º degrau. Esse processo é realizado para eliminar possíveis vieses utilizando escalas individuais para cada amostra, pois, mesmo com a padronização da técnica utilizada, não é possível obter imagens idênticas em relação a tonalidade de cinzas. A ferramenta “poligonal” foi utilizada para a área da diáfise e a “oval”, para a epífise proximal. Em seguida, os valores obtidos foram mediante a utilização da função “tendência” do software Microsoft Office Excel para que assim, os valores do raio-x fossem equiparados com os valores da escala de alumínio e transformados na unidade mmAl.

4.7. Análises bioquímicas e hemograma

Para análise sérica, o sangue foi coletado um dia antes do abate por punção da veia jugular e via agulha 18G (1.2 mm) acoplada ao canhão e tubos a vácuo com EDTA 4 ml e tubos com fluoreto de 4 ml. Os tubos de EDTA foram usados para analisar o colesterol, triglicérides, fosfatase alcalina, cálcio total, fósforo inorgânico, magnésio e frutamina. Para analisar a glicose, o tubo utilizado foi o fluoretado. Após a coleta, os tubos foram homogeneizados e centrifugados por 20 minutos a 2500 rpm para obtenção do plasma.

A determinação dos teores séricos de cada parâmetro foi por meio do equipamento Mindray® BS 120 – China, com kits comerciais da Labtest, Brasil (Colesterol Ref 76-2/100; Triglicérides Ref. 87-2/100; Fosfatase Alcalina Ref. 79-4/30; Cálcio Total Ref. 90-2/60; Fósforo Inorgânico Ref. 12-200; Magnésio /ref. 50-1/200; Frutamina Ref. 97-6/15; Glicose Ref. 133-2/500; Calibra H Ref. 80-1; Qualitrol 1H Ref. 71-1). A metodologia utilizada foi colorimétrica – enzimático

de Trinder (colesterol); colorimétrica – reação de Trinder (triglicérides); colorimétrica – Bowers e Mc Comb modificado (fosfatase alcalina); colorimétrico – CPC – cresolftaleína (cálcio total); UV – Daly e Ertings usen modificado (fósforo orgânico); colorimétrica – Labtest – Magon sulfonado (magnésio); Colorimétrico – Redução do NBT – azul de nitrotetrazóico (frutosamina) e colorímetro – GOD – Trinder (glicose).

Para as análises completas do hemograma, foram utilizados o equipamento de contagem automatizada Mindray BC – 2800 Vet (Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., China) e o kit comercial Mindray – V-28 Reagent Kit (Mini Pack); V-28P Probe Cleanser; V-28 EZ Cleanser.

As análises de concentração mineral na carne e no osso foram feitas seguindo a metodologia de AOAC (1980). Para mensurar a concentração de cálcio, fósforo e cromo na carne, um bife de 2,5 cm de espessura foi separado no dia do abate e congelado para realizar a digestão via seca. As amostras foram secas em estufa a 105 °C. Em seguida resfriadas, novamente pesadas em balança analítica (Shimadzu®, AUY220). Após a pesagem de cada foram pesadas 2 g de carne e levadas ao forno mufla, onde passaram 24 horas a uma temperatura de 500 °C. Depois das amostras já frias, foi adicionado 20 ml de ácido clorídrico na proporção de 1:1, onde ficou de repouso por aproximadamente 20 minutos. Em seguida, a concentração foi filtrada por um papel filtro qualitativo de 12,5 cm de diâmetro utilizando um funil de plástico e um balão volumétrico e acrescentou água destilada.

Para analisar cálcio, fósforo e cromo no osso, ele foi reduzido primeiramente serrando 5 cm de espessura ao meio e em seguida foi quebrado para redução de partícula, assim, pesou-se 2 g de osso que foi levado para o forno mufla por 2 dias. Todo o processo de digestão via seca foi o mesmo que o realizado na carne. As amostras foram transferidas do balão volumétrico para o tubo de Falcon, onde foram realizadas as leituras por espectrometria de emissão óptica através do ICP-OES (Shimadzu®, ICPE-9000).

4.8. Tratamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados, com 29 animais (repetição) e distribuídos em três tratamentos. O software utilizado foi o SAS® (SAS Institute IncCary, NC Version 9.4). A normalidade dos dados foi verificada

através do teste de Shapiro-Wilk, as análises estatísticas foram realizadas através do procedimento MIXED e teste foi de Tukey com 5% de probabilidade estatística.

O modelo matemático utilizado para avaliar o desempenho foi:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + t_j + e_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = valor observado na parcela do tratamento i , no tempo j ;

μ = é a constante inerente a todas as observações;

a_i = efeito de tratamento (nível de cromo), com $i = 1 - 3$;

t_j = efeito de tempo, com $j = 1 - 4$;

e_{ij} = é o erro experimental associado à observação Y_{ij} , independente e distribuído de uma forma idêntica a partir de uma normal com média zero e variância comum.

O modelo matemático utilizado para o restante dos resultados foram:

$$Y_i = \mu + a_i + e_i$$

Onde:

Y_i = valor observado na parcela do tratamento i ;

μ = é a constante inerente a todas as observações;

a_i = efeito de tratamento (nível de cromo), com $i = 1 - 3$;

e_i = é o erro experimental associado à observação Y_{ij} , independente e distribuído de uma forma idêntica a partir de uma normal com média zero e variância comum.

5. RESULTADOS

5.1. Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne

Para desempenho (Tabela 2) foi observado diferença entre os tratamentos no CMS mensurado por kg/dia ($P < 0,0001$), no peso vivo ($P < 0,0001$) e no peso metabólico ($P < 0,0001$), onde os valores foram aumentando conforme a dose. Sobre a eficiência alimentar, os resultados foram significativos com a suplementação do Cr ($P = 0,0002$), observando que, o tratamento Cr1,5 foi o de menor valor. Na interação dos tratamentos com o tempo (Tabela 3) os

parâmetros CMS/PV ($P=0,0297$) e CMS/PV^{0,75} ($P<0,001$) foram significativos. A suplementação com cromo não interferiu no peso inicial, peso ao abate e o ganho médio diário dos cordeiros.

Tabela 2. Desempenho de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					P-valor	
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	TRAT	TRAT*TEMPO
Peso inicial, kg	21,24	21,13	21,13	21,16	0,50	0,8473	-
Peso ao abate, kg	44,18	44,95	43,64	44,25	0,61	0,5251	-
CMS, kg/dia	1,27 B	1,29 B	1,48 A	1,34	0,02	<0,0001	0,2235
CMS/PV, %	3,58 B	3,63 B	4,26 A	3,82	0,05	<0,0001	0,0297
CMS/PV ^{0,75} , kg/kg	8,73 B	8,84 B	10,31 A	9,29	1,18	<0,0001	<0,0001
GMD, kg	0,381	0,397	0,375	0,384	0,00	0,4763	0,5565
EA, kg/kg	0,31 A	0,31 A	0,26 B	0,29	0,00	0,0002	0,2217

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; CMS: consumo de matéria seca; CMS/PV: consumo de matéria seca pelo peso vivo do animal; CMS/PV^{0,75}: consumo de matéria seca pelo peso vivo metabólico do animal; GMD: ganho médio diário; EA: eficiência alimentar; A-B: médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas diferem pelo teste de Tukey com probabilidade a 5%.

Tabela 3. Interação entre tratamentos e tempo sobre o consumo de matéria seca de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos		
	CTL	0,5	1,5
CMS/PV, %			
Dia 15	3,36 C	3,80 B	4,44 A
Dia 30	3,73 B	3,87 B	4,45 A
Dia 45	3,71 B	3,55 B	4,29 A
Dia 64	3,54 AB	3,31 B	3,86 A
CMS/PV ^{0,75} , kg/kg			
Dia 15	7,65 C	8,65 B	10,04 A
Dia 30	8,93 B	9,30 B	10,64 A
Dia 45	9,22 B	8,87 B	10,65 A
Dia 64	9,12 AB	8,54 B	9,91 A

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; CMS/PV: consumo de matéria seca pelo peso vivo do animal; CMS/PV^{0,75}: consumo de matéria seca pelo peso vivo metabólico do animal; A-B: médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas diferem pelo teste de Tukey com probabilidade a 5%.

Não houve efeito ($P>0,05$) da inclusão de cromo para as características de carcaça (Tabela 4) como área de olho de lombo, peso de carcaça quente e fria, rendimento de carcaça quente ou fria, perda de água por resfriamento, espessura de gordura subcutânea temperatura e pH *post mortem* ou 24 horas *post-mortem*.

Tabela 4. Características de carcaça de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
AOL, cm ²	18,34	17,76	17,03	17,71	0,52	0,2653
PC quente, kg	20,69	20,60	20,46	20,58	0,33	0,9368
RC quente, %	48,56	47,58	48,24	48,13	0,39	0,6077
PC fria, kg	20,24	20,14	19,99	20,12	0,32	0,9227
RC fria, %	47,51	46,53	47,15	47,06	0,38	0,6114
Perda por resfriamento, %	2,14	2,20	2,26	2,20	0,07	0,8780
EGS, mm	2,76	2,65	2,61	2,67	0,10	0,8044
pH, 30 min	6,51	6,48	6,45	6,48	0,02	0,7328
T °C, 30 min	30,31	30,71	30	30,36	0,24	0,5925
pH, 24h	5,79	5,72	5,75	5,76	0,01	0,1647
T °C, 24h	5,94	6,17	6,07	6,08	0,10	0,7330

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; AOL: área de olho de lombo; PC quente: peso de carcaça quente; RC quente: rendimento de carcaça quente; PC fria: peso de carcaça fria; RC fria: rendimento de carcaça fria; EGS: espessura de gordura subcutânea.

Observando as características dos cortes cárneos comerciais (Tabela 5) como peso dos cortes e a proporção em relação ao peso da meia carcaça, não houve interferência estatística significativa da inclusão do cromo ($P>0,05$).

Tabela 5. Características dos cortes cárneos comerciais de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos			MÉDIA	SEM	P-valor
	CTL	Cr0,5	Cr1,5			
Paleta, kg	1,90	1,98	1,87	1,91	0,02	0,1086
Pernil, kg	3,29	3,34	3,23	3,28	0,05	0,4347
Costela, kg	4,16	4,29	4,33	4,26	0,10	0,7874
Lombo, kg	0,911	0,880	0,925	0,903	0,02	0,6189
% da paleta	18,61	18,91	18,16	18,56	0,27	0,5609
% do pernil	32,86	31,94	31,37	32,05	0,31	0,1630
% da costela	40,01	41,82	41,88	41,23	0,49	0,2850
% do lombo	9,04	8,56	8,97	8,85	0,17	0,3242

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; % da paleta: rendimento do corte paleta em relação a meia carcaça; % do pernil: rendimento do corte pernil em relação a meia carcaça; % da costela: rendimento do corte costela em relação a meia carcaça; % do lombo: rendimento do corte lombo em relação a meia carcaça.

A respeito da influência dos tratamentos com cromo para as avaliações de qualidade de carne (Tabela 6), como cor (L^* , a^* e b^*), perda de água por cocção, força de cisalhamento e TBARS, não foram observados nenhum efeito ($P > 0,05$).

Tabela 6. Cor, perda por cocção, força de cisalhamento e TBARS da carne de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
L^*	36,82	38,27	40,52	38,53	0,81	0,2290
a^*	14,55	14,58	13,41	14,18	0,27	0,2163
b^*	13,46	14,10	12,84	13,46	0,24	0,1137
PPC (%)	24,63	27,59	25,99	26,07	0,89	0,3316
Força cisalhamento (kgf)	6,72	7,02	6,77	6,83	0,21	0,8543
TBARS	0,162	0,166	0,162	0,163	0,00	0,9696

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; L^* : é a croma associado à luminosidade ($L^* = 0$ preto, 100 branco); a^* : é a croma que varia do verde (-) ao vermelho (+); b^* = é a croma que varia do azul (-) ao amarelo (+); PPC: perda por cocção; TBARS: substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, expresso em μg de malondialdeído/g de carne.

Sobre o peso das vísceras dos cordeiros suplementados com cromo (Tabela 7), não foi observado nenhum efeito entre os tratamentos ($P>0,05$).

Tabela 7. Peso das vísceras de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

Peso, kg	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
Fígado	0,852	0,811	0,909	0,857	0,03	0,5581
Rim	0,122	0,123	0,117	0,120	0,00	0,4742
Gordura renal	0,174	0,195	0,162	0,177	0,01	0,5539
Trato respiratório	0,623	0,638	0,687	0,649	0,02	0,6148
Coração	0,178	0,185	0,172	0,178	0,00	0,4249
Pâncreas	0,041	0,044	0,038	0,041	0,00	0,6025
Baço	0,076	0,072	0,073	0,073	0,00	0,7218
Rúmen	0,997	1,021	1,039	1,019	0,02	0,6994
Intestino	1,342	1,595	1,366	1,434	0,06	0,1545
Gordura abdominal	0,953	0,902	0,868	0,907	0,06	0,8558

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS.

5.2. Características morfológicas do fêmur e concentração de minerais no osso, carne e no sangue

Para as análises dos fêmures (Tabela 8) como peso, comprimento, Índice de Seedor e raio-x, não houve efeito significativo do cromo ($P > 0,05$).

Tabela 8. Morfologia e densidade óssea em fêmures de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
Peso, g	193	203	190	195	0,00	0,3601
Comprimento, cm	18,33	18,55	17,55	18,14	0,17	0,3011
Índice de Seedor, g/cm	10,5	10,9	10,6	10,6	0,00	0,5685
RX epífise	17,53	17,34	17,03	17,30	0,46	0,8976
RX diáfise	25,06	25,22	25,70	25,32	0,32	0,7281

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; RX: raio-x.

Nas concentrações de minerais (Tabela 9), foi observado que nos ossos, o cálcio e o fósforo não sofreram interferência com a inclusão do Cr. Porém, a concentração de cromo foi maior no tratamento Cr0,5 ($P=0,0520$).

Para os valores das concentrações de cálcio e fósforo na carne dos cordeiros, não sofreram interferência com a inclusão do cromo ($P>0,05$). Entretanto, os valores observados em relação a presença de cromo na carne foram significativos ($P=0,0341$), aumentando conforme a dosagem.

No sangue, cálcio e magnésio não tiveram valores significativos, mas o fósforo teve valores significativos para tratamento ($P=0,0213$), sendo observado que o tratamento Cr0,5 teve menor concentração.

Tabela 9. Concentração dos minerais no osso, na carne e no sangue de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
Osso						
Cálcio, % MS	25,75	26,14	25,89	25,92	0,17	0,4912
Fósforo, % MS	10,98	10,99	10,87	10,94	0,05	0,4477
Cromo, ppm MS	14,18 B	14,81 A	13,29 C	14,09	0,49	0,0520
Carne						
Cálcio, % MS	0,030	0,021	0,032	0,028	0,00	0,4065
Fósforo, % MS	0,657	0,678	0,671	0,673	0,01	0,7278
Cromo, ppm MS	3,156 B	4,709 AB	6,324 A	4,729	0,55	0,0341
Sangue						
Cálcio, mg/dL	11,75	11,04	11,12	11,30	0,15	0,3771
Fósforo, mg/dL	9,47 A	8,63 B	9,06 AB	9,05	0,15	0,0213
Magnésio, mg/dL	2,24	2,21	2,37	2,27	0,05	0,6325

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; A-B: médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas diferem pelo teste de Tukey com probabilidade a 5%.

5.3. Parâmetros sanguíneos e hemograma

Nas avaliações realizadas no sangue dos cordeiros (Tabela 10), o colesterol foi significativo para tratamento ($P=0,0023$), no qual o menor valor observado foi no tratamento Cr0,5. A Fosfatase alcalina foi significativa para tratamento ($P=0,0274$), onde os valores diminuíram de acordo com a inclusão do cromo. Já para triglicérides, frutossamina e glicose, não foi observado nenhum efeito do cromo.

Tabela 10. Parâmetros sanguíneos de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
Colesterol, mg/dL	53,17 AB	44,97 B	58,71 A	52,28	1,97	0,0023
Triglicérides, mg/dL	15,83	15,42	15,10	15,45	1,20	0,3674
Fosfatase alcalina, U/L	577,74 A	383,20 AB	360,50 B	440,48	36,15	0,0274
Frutossamina, $\mu\text{mol/L}$	530,33	478,76	496,13	501,74	9,73	0,1418
Glicose, mg/dL	87,63	83,58	83,04	84,75	1,27	0,2187

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; A-B: médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas diferem pelo teste de Tukey com probabilidade a 5%.

Os dados obtidos no hemograma completo realizado nos cordeiros (Tabela 11) demonstraram efeito de tratamento para leucócitos totais (P=0,0126), linfócitos (P=0,0476) e monócitos (P=0,0058). De acordo com as médias, os leucócitos totais e os linfócitos tiveram valores menores no tratamento Cr0,5. Os monócitos diminuíram com a inclusão do cromo, sendo o de menor valor o tratamento Cr1,5.

Tabela 11. Hemograma completo de cordeiros suplementados com diferentes níveis de propionato de cromo.

	Tratamentos					
	CTL	Cr0,5	Cr1,5	MÉDIA	SEM	P-valor
Hemácias, x10 ⁶ /μL	12,36	12,71	12,22	12,43	0,16	0,4894
Hemoglobinas, g/dL	12,03	11,80	11,58	11,80	0,15	0,4228
Hematócritos, %	36,64	34,21	35,79	35,54	0,93	0,6081
VCM, fL	29,52	29,35	29,35	29,40	0,27	0,9635
HCM, pg	9,73	9,30	9,49	9,50	0,08	0,1823
CHCM, %	32,97	32,19	32,34	32,50	0,22	0,3519
Leucócito relativo						
Leucócitos totais, /μL	6747 A	3520 B	5100 AB	5122	22,68	0,0126
Neutrófilos, %	29,19	33,50	27,00	29,89	1,56	0,4713
Linfócitos, %	63,92	62,40	68,00	64,77	1,62	0,5407
Monócitos, %	5,45	3,40	3,40	4,08	0,41	0,1025
Eosinófilos, %	0,71	0,40	0,70	0,60	0,12	0,6215

Basófilos, %	0,72	0,30	0,70	0,57	0,13	0,3457
Leucócito absoluto						
Neutrófilos, / μ L	2298	1936	1489	1907	161,03	0,2290
Linfócitos, / μ L	5009 A	3252 B	3983 AB	4081	343,84	0,0476
Monócitos, / μ L	424,55 A	184,70 B	177,40 B	262,21	35,13	0,0058
Eosinófilos, / μ L	51,97	20,80	35,60	36,12	7,32	0,3915
Basófilos, / μ L	64,17	34,80	34,10	37,59	7,78	0,0902
Plaquetas, $\times 10^3/\mu$ L	507	517	554	526	30,31	0,8430

CTL: sem suplementação dietética do propionato de cromo; Cr0,5: 0,5 mg/kg de MS; Cr1,5: 1,5 mg/kg de MS; VCM: volume corpuscular médio; HCM: hemoglobina corpuscular média; CHCM: concentração de hemoglobina corpuscular média; A-B: médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas diferem pelo teste de Tukey com probabilidade a 5%.

6. DISCUSSÃO

6.1. Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne

A maior parte da literatura relacionada a suplementação para cordeiros ou ovelhas mostra que o Cr interfere no consumo de modo que este diminui de acordo com o aumento das dosagens, podendo ser explicado pela alta disponibilidade de energia e ativação do centro da saciedade, onde, conseqüentemente o consumo é reduzido (FAVERDIN, 1999; DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009; HASHEMIAN et al., 2020; SEIFALINASAB et al. 2022).

Para ovinos e outras espécies como suínos e bezerros leiteiros, foi observado que o CMS também aumentou com a inclusão do Cr (LI et al., 2013; HERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2015; KARGAR; HABIBI; KARIMI-DEHKORDI, 2019), podendo ser explicado pelo aumento na frequência das refeições, se o Cr tem sua capacidade de melhorar a eficiência da glicose e a sensibilidade a insulina, as dietas que possuem suplementação de Cr podem aumentar a taxa de desaparecimento da glicose até certo ponto, resultando em intervalos mais curtos entre as refeições e aumentando a ingestão de ração (KARGAR; HABIBI; KARIMI-DEHKORDI, 2019).

Apesar de aumentar o consumo, a diminuição da EA em dosagens altas pode ser explicada pela deficiência da disponibilidade do Cr devido ao aumento do mesmo pela excreção urinária em doses maiores (PECHOVA & PAVLATA, 2007). Mesmo assim, a maioria dos resultados encontrados com a suplementação de Cr, se mostra essencial para o desempenho, como aumento da eficiência alimentar e do ganho médio diário na maioria das espécies (ESTRADA-ANGULO et al., 2013; LI et al., 2013; VAN BIBBER-KRUEGER et al., 2016) entretanto, a diferença entre as pesquisas se deve ao fato do estado fisiológico do animal, a fonte e a dosagem (LASHKARI et al., 2018).

No quesito características de carcaça, o Cr tem um papel relevante sobre o fatores de redução na espessura de gordura subcutânea, intramuscular e visceral e aumento da área de olho de lombo tanto para ruminantes como para monogástricos (DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009; ARVIZU et al., 2011; DALLAGO et al., 2011; HASHEMIAN et al., 2020; RODRÍGUEZ-GAXIOLA et al., 2020). Isso se deve pois, a captação da glicose pelos tecidos e a sensibilidade a insulina

umentam, potencializando a síntese de proteína nos músculos (BERNHARD et al., 2012). Já sobre a diminuição da gordura, é um resultado da interação positiva entre os adipócitos com as concentrações de glicose e a menor capacidade de seus tecidos utilizá-las como fonte de carbono para a lipogênese (LASHKARI et al., 2018). Porém, mesmo assim para ruminantes ainda existe uma discrepância nos resultados, sendo preciso observar que as fontes e dosagens de Cr tem sido os maiores motivos para resultados concisos (HERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2015).

Apesar do Cr potencializar a síntese de proteína nos músculos e aumentar a AOL e diminuir a espessura de gordura é muito comum o rendimento de carcaça não ser significativo com a suplementação de Cr, tanto para novilhos como ovinos na fase de terminação (DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009; RODRÍGUEZ-GAXIOLA et al., 2020; HERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2015; VAN BIBBER-KRUEGER et al., 2016; JIN & ZHOU 2022), mesmo assim, alguns músculos passam por crescimentos alométricos, ou seja, possuem taxas de crescimento maiores que outros (BERNHARD et al., 2012). Em ovinos, é mais comum a paleta se desenvolver de forma mais tardia em relação aos outros constituintes (FURUSHO-GARCIA et al., 2006), porém, há controvérsias sobre o efeito do Cr na proporção de cortes como pernil, que foi maior com a suplementação (JIN & ZHOU 2022).

A qualidade da carne é determinada de acordo com alguns parâmetros realizados após o abate, tais como pH, onde os valores mensurados após abate e 24 horas depois vai determinar se a carne se classifica como DFD (escura, firme e seca) ou PSE (pálida, mole e exsudativa), sendo ambas as características qualitativas (SCHEFFLER et al., 2011). A perda de peso por cocção (PPC) e a força de cisalhamento, sendo indicativos importantes para a maciez (MAMANI-LINARES & GALLO, 2014; UEDA et al., 2007). Os resultados mostraram que o Cr não interferiu no quesito pH e maciez, mas a força de cisalhamento pode ser afetada de forma negativa com a suplementação de Cr (SULLIVAN & CALKINS, 2011). Porém, essas características são afetadas principalmente pela presença de gordura na carne, raça, idade ao abate e sexo. Mesmo que o Cr não tenha interferido nos parâmetros de maciez, ele pode interferir na quantidade de gordura na carne, onde são consideradas carnes menos macias (SULLIVAN & CALKINS, 2011; JIN & ZHOU, 2022).

A cor da carne é um dos principais fatores pelo qual os consumidores julgam o produto como sendo de qualidade ou não. Foi observado que o Cr em cordeiros (JIN & ZHOU, 2022) e em suínos (LIU et al., 2023) não interferiu nas características de cor (L^* , a^* e b^*). Porém, a mudança de cor da carne está mais relacionada com o nível de concentrado que o animal ingere, sendo observado que os valores de a^* diminuem conforme aumenta os teores de concentrado (GAO et al., 2014; JIN & ZHOU, 2022) e valores L^* e b^* aumentam (FRUET et al., 2016).

A quantidade de gordura e o seu tipo pode influenciar diretamente na sua maciez e sabor, principalmente a presença a maior presença de ácidos graxos insaturados (AGI) (WEBB & O'NEILL, 2008) Com o aumento da presença do AGI pode acontecer a estabilidade oxidativa dos lipídios, acontecendo assim a peroxidação lipídica e conseqüentemente a deterioração da carne. Em cordeiros não há muitas evidências que o Cr interfere na peroxidação lipídica, mas em frangos de corte submetidos à estresse térmico, a suplementação de Cr melhorou a qualidade da carne por reduzir a peroxidação lipídica, no entanto, não houve diferença na quantidade de malondialdeído, determinada por níveis de ácido tiobarbitúrico (TBARS) (DALÓLIO et al., 2018).

6.2. Características morfológicas do fêmur e concentração de minerais no osso, na carne e no sangue

Sabe-se que os osteoclastos são ativados por hormônios produzidos pela paratireoide (PTH), sua ativação é mediada pela estimulação dos osteoblastos pelo PTH e depende do aumento da atividade da proteína quinase-C (PKC). A insulina, dependendo do seu nível fisiológico, pode reduzir a capacidade da ativação da PKC nos osteoblastos pelo PTH, sugerindo que a insulina tenha efeitos antagônicos da reabsorção óssea (MCCARTY, 1995). Resumindo assim, o Cr pode aumentar a atividade da insulina nos ossos, resultando na inibição da reabsorção óssea, bloqueando o PTH nos osteoblastos e impedindo a ativação da PKC.

Além do processo relacionado ao PTH, a insulina pode atuar diretamente nas células ósseas, inibindo a expressão osteoprotegerina que por sua vez inibe a ativação e maturação dos osteoclastos, estimulando assim, a reabsorção

óssea, assim, se houver a ativação da osteocalcina, vai aumentar a quantidade de osteoblastos e conseqüentemente a deposição do cálcio nos ossos, caso o processo de remodelação óssea não aconteça (aumento de osteoblastos), vai ocorrer apenas o processo de reabsorção (aumento de osteoclastos) fazendo com que a densidade do osso diminua (FERRON et al., 2010; DIGIROLAMO et al., 2012).

O Cr é um cátion enquanto o fósforo (P) é um ânion, entendendo assim que não há competição pelas proteínas de transporte dos enterócitos (STĘPNIOWSKA et al., 2020). Como já dito, o Cr absorvido promove a secreção do PTH, corticosterona, insulina e dopamina (LEVI et al., 2019; SAHIN et al., 2002; STĘPNIOWSKA et al., 2019) podendo influenciar indiretamente a absorção do fósforo, o que pode explicar a diminuição na concentração de fósforo sérico. O PTH é responsável por regular o metabolismo do cálcio e do fosfato, mobilizando Ca dos ossos pela ativação dos osteoclastos, e conseqüentemente, resultando na reabsorção do osso. Quando o Ca no sangue está baixo, o PTH diminui a reabsorção do fosfato, quanto está alto, o PTH aumenta a reabsorção do fosfato nos rins (STĘPNIOWSKA et al., 2020).

Sendo assim, qualquer efeito do Cr sobre o processo de remodelação/reabsorção óssea e sobre o PTH, poderiam ser observados nas análises de densidade óssea, o que não foi encontrado. Entretanto, há relatos de que a suplementação com Cr possa interferir de forma negativa na densidade, principalmente na programação fetal (BROCHINE et al., 2023). Ainda assim, a relação do micromineral com a densidade óssea ainda precisa ser mais estudada já que em aves de corte foi analisado que a suplementação com Cr diminuiu a concentração de Ca nos ossos, podendo ter relação com a diminuição da atividade da fosfatase alcalina, enzima responsável pela maturação óssea da matriz (EBRAHIMZADEH et al., 2013; SAEED et al., 2017), e, em ratos, o Cr alterou a atividade de mineralização pela modulação de parâmetros bioquímicos no osso por conta de sua deposição óssea aumentar e diminuir a concentração de fosfatase. Essa alteração leva a um desequilíbrio na formação óssea e na remodelação (SANKARAMANIVEL et al., 2006). O acúmulo de Cr nos ossos não é desejável, pois ele pode alterar a estrutura hidroxiapatita e assim, pode aumentar a fragilidade óssea, substituindo o Ca no processo de mineralização, afetando assim toda estrutura (STĘPNIOWSKA et al., 2020).

Já a concentração desses minerais nos tecidos, em uma pesquisa realizada com frangos sobre a absorção intestinal do Cr e do P, e chegaram à conclusão de que o Cr se acumula em maiores concentrações nos tecidos como do íleo, fígado e músculos, e que independente da fonte utilizada conforme aumenta a dosagem, aumenta a deposição. Foi observado também que a presença do Cr na suplementação aumenta a concentração de fósforo no íleo, no sangue e no músculo (STĘPNIOWSKA et al., 2020), justificando a concentração de Cr no tecido muscular, aumentando linearmente conforme houve o aumento da dose com os cordeiros (EMAMI et al., 2015), observado também com suínos (TIAN et al., 2015) e com ratos (ZHA et al., 2007).

Para os minerais encontrados no sangue, o fósforo (P) é um dos mais importante, sendo ele componente dos ácidos nucléicos e fosfolipídios além de ser um cofator para algumas enzimas (SAHIN et al., 2018). Ele desempenha um papel de extrema importância no equilíbrio osmótico e ácido-base, síntese proteica e na mineralização óssea, além de desempenhar o papel de mediador no metabolismo energético através do ATP (LI et al., 2016). Portanto, a falta desse mineral no organismo pode interromper alguns processos bioquímicos nas células.

Ainda existe inconsistência nos estudos sobre a interação dos minerais no sangue. Em aves foi observado que a suplementação não interferiu na quantidade de P sérico, mas aumentou Ca e Mg, entretanto, em ovinos foi observado que o Cr afeta indiretamente o P no sangue e em outros tecidos (UYANIK et al., 2002; STĘPNIOWSKA et al., 2020).

É pouco provável que o fósforo seja liberado dos ossos, se os níveis estiverem baixos nas células, é mais provável que a absorção pelo intestino aumente ou a excreção pela urina diminua (SANKARAMANIVEL et al., 2006). Ainda assim, é fato de que existe uma interação do Cr e do P, podendo ser ela no metabolismo energético em relação ao ATP ou a nível ósseo e tecidual. Ademais, o que foi observado na literatura é que o Cr interage com os minerais, mas, ainda é necessário fazer mais pesquisas sobre essas interações e suas vantagens e desvantagens.

6.3. Parâmetros sanguíneos e hemograma

Com a falta de informações mais aprofundadas sobre o Cr e seus efeitos na nutrição e sobre seus mecanismos de ação, o micromineral é utilizado ainda como um fator antiestresse para a indústria, com o intuito de melhorar o desempenho e o sistema imunológico dos animais (SUTTLE, 2022; DALLAGO et al., 2013). Para entender melhor o estado fisiológico e nutricional em que o animal se encontra, o perfil hemato-bioquímico sanguíneo é considerado um dos melhores métodos de avaliação (AUTUKAITĖ et al., 2020).

O colesterol total é uma soma de moléculas associadas a lipoproteínas de alta densidade (HDL) e de baixa densidade (LDL), sendo a primeira transportadora de colesterol dos tecidos para o fígado e a segunda do fígado para os tecidos. Com a suplementação de Cr, a concentração de colesterol total sofre redução (DOMÍNGUEZ-VARA et al., 2009; ZHOU et al., 2013). Além disso, a ação do micromineral sobre a glicose também tem o efeito de diminuição (KRÓL et al., 2020). Embora que não tenha sido realizado uma análise sobre a concentração de HDL e LDL, existe certa inconsistência nas pesquisas, onde, os níveis de ambos podem variar de acordo com a fonte de dosagem de Cr, além disso, fatores dietéticos como quantidade de energia e a fonte de gordura são justificativas (WANG et al., 2017; PIRAY & FOROUTANIFAR, 2021).

Sabe-se que o Cr altera algumas atividades enzimáticas associadas ao catabolismo lipídico (XI et al., 2001) inibindo a transcrição das enzimas limitantes presentes na via de síntese de gordura (ZHOU et al., 2013). Logo, se o Cr é capaz de modular o metabolismo lipídico melhorando o metabolismo de carboidratos e também alterando a atividade da lipase lipoproteica (CEFALU et al., 2002), o que leva ao aumento da lipogênese intracelular, reduzindo a sua taxa catabólica e dos ácidos graxos livres, triglicérides e colesterol (SHARMA et al., 2011), o que pode explicar a redução do colesterol em trabalhos com suplementação de Cr.

A fosfatase alcalina é uma enzima presente nos rins, fígado e ossos é considerada um biomarcador bem estabelecido de algumas doenças (TANG et al., 2019). Sua alta concentração está relacionada com distúrbios hepáticos e ósseos, com osteopatias (tumores ósseos osteoblásticos e osteomalácia), reação leucemóide ou com a presença de linfomas (GIANNINI, 2005), sendo

assim, a enzima é mensurada para avaliar a saúde do animal. Alguns estudos realizados com ovinos, mostraram que a suplementação com Cr diminui a concentração a fosfatase alcalina de forma linear (PAUL et al., 2005). Isso se deve ao fato de que a presença do Cr no organismo interfere de forma positiva com a diminuição dessa enzima, reafirmando que a suplementação melhora a saúde animal (SANKARAMANIVEL et al., 2006).

Outro método de avaliação da saúde do animal é o hemograma. Algumas pesquisas mostraram que a quantidade de hemácias, hemoglobinas, hematócitos, VCM, HCM e CHCM não são afetados de forma negativa pelo Cr, pelo contrário, as células de defensoras do organismo (leucócitos, neutrófilos, linfócitos, monócitos, eosinófilos e basófilos), que são um indicativo sobre o processo do sistema imunológico, quanto maior for sua concentração, maiores as chances do animal estar com algum distúrbio, seja ele infecção, inflamação e entre outras doenças, foram influenciados estatisticamente pelo Cr, diminuindo a quantidade dessas células e mostrando assim, a eficiência da suplementação para o sistema imunológico dos animais (SEIFALINASAB et al., 2022; TOGHYANI et al., 2012; SMOCK et al., 2020).

Mesmo que alguns resultados sejam inconsistentes sobre a eficiência no micromineral na saúde, o Cr é utilizado como um melhorador do sistema imunológico nos ruminantes, agindo de maneira positiva sobre as células do organismo (LASHKARI et al., 2018). A justificativa para isso, é que o Cr atua na regulação da atividade de algumas enzimas relacionadas ao sistema imunológico, derivado de suas propriedades antioxidantes (RAMA RAO et al., 2012; PIRAY & FOROUTANIFAR, 2021).

7. CONCLUSÃO

O propionato de cromo interferiu no desempenho dos cordeiros de forma negativa na maior dose e, mostrou seu efeito na carne, onde a concentração de Cr aumentou de forma equivalente a suplementação. Nos parâmetros bioquímicos, ele reduziu as concentrações de colesterol total, fósforo e fosfatase alcalina, e, melhorou a saúde dos animais, diminuindo a presença de células funcionais do sistema imune.

Sendo assim, conclui-se que a suplementação com o propionato de cromo é positiva em relação aos parâmetros bioquímicos e imunidade dos cordeiros confinados.

8. REFERÊNCIAS

- ACTON, J. C.; DAWSON, P. L. Impact of proteins on food colour. **Proteins in food processing**, p. 631–668, 2004.
- ALVES, D. D.; GOES, R. H. T. B.; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, p. 135–149, 2005.
- AMATA, A. Chromium in Livestock Nutrition: A Review **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 2, p. 289-306, 2013.
- AMSA. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. **American Meat Science Association**, 1995.
- ANDERSON, R. A.; BRYDEN, N. A.; POLANSKY, M. M. Dietary chromium intake. **Biological Trace Element Research**, v. 32, n. 1–3, p. 117–121, Jan. 1992.
- ANDERSON, R. A.; KOZLOVSKY, A. S. Chromium intake, absorption and excretion of subjects consuming self-selected diets. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 41, n. 6, p. 1177–1183, 1 jun. 1985.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists - **Official Methods of Analysis**. 11. Ed, 1980.
- ARVIZU, R. R. et al. Effects of genotype, level of supplementation, and organic chromium on growth performance, carcass, and meat traits grazing lambs. **Meat Science**, v. 88, n. 3, p. 404–408, Jul. 2011.
- AUTUKAITĚ, J. et al. The impact of temperature-humidity index on blood morphology and β -hydroxybutyrate in different sheep breeds. **Acta Veterinária Brno**, v. 89, n. 3, p. 247–254, 2020.
- BARROS, C. S. **Análise econômica de sistemas de produção de ovinos para carne**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.
- BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. **Livestock Production Science**, v. 70, n. 1–2, p. 15–29, Jul. 2001.

BERNER, Y. N. Phosphorus. **Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements**. New York, p. 63–92, 1997.

BERNHARD, B. C. et al. Chromium supplementation alters both glucose and lipid metabolism in feedlot cattle during the receiving period 1, 2, 3. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 13, p. 4857–4865, 1 Dez. 2012.

BEZERRA, H. V. A. et al. Impact of purified lignin on performance, rumen health, oxidative stress control and meat quality of lambs fed a high-concentrate diet. **Livestock Science**, v. 231, p. 103882, Jan. 2020.

BIN-JUMAH, M. et al. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. **Science of The Total Environment**, v. 707, p. 135996, mar. 2020.

BROCHINE, L. et al. The Impact of Fetal Programming in Ewe Nutrition with Chromium Propionate or Calcium Salts of Palm Oil on the Meat Quality and Bone of the Progeny. **Biological Trace Element Research**, v. 201, n. 5, p. 2331–2340, 27 Maio, 2023.

BUENO, M. S.; C. E. A.; S. L. E. Santa Inês sheep breed in the intensive meat production in the southeast region of Brazil. **Global Conference of Conservation of Domestic Animal Resources**, 2000.

CAPUTI, B. **Métodos analíticos**. São Paulo: Sindirações, 2017. (Nota técnica).

CEFALU, W. T. et al. Oral Chromium Picolinate Improves Carbohydrate and Lipid Metabolism and Enhances Skeletal Muscle Glut-4 Translocation in Obese, Hyperinsulinemic (JCR-LA Corpulent) Rats. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 6, p. 1107–1114, jun. 2002.

CEZAR, M. F.; SOUSA, W. H. **Carcças ovinas e caprinas: obtenção, avaliação, classificação**. Uberaba, MG: Agropecuária Tropical, 2007.

CHANG, X.; MOWAT, D. N. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 2, p. 559–565, 1 fev. 1992.

CHEN, N. S. C.; TSAI, A.; DYER, I. A. Effect of Chelating Agents on Chromium Absorption in Rats. **The Journal of Nutrition**, v. 103, n. 8, p. 1182–1186, 1 ago. 1973.

CIE. Recommendations on Uniform Color Spaces, Color-Difference Equations, and Metric Color Terms. **Color Research & Application**, v. 2, n. 1, p. 5–6, mar. 1986.

CORIA, M. S. et al. Feeding strategies alter gene expression of the calpain system and meat quality in the longissimus muscle of Braford steers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 5, p. 753–762, 1 Maio 2020.

COSTA E SILVA, L. F. ET AL. Nutritional requirements, diet formulation and performance prediction of Zebu and Cross breed cattle. **Mineral requirements for beef cattle**, p. 213–250, 2016.

DALLAGO, B. S. L. et al. Performance and ruminal protozoa in lambs with chromium supplementation. **Research in Veterinary Science**, v. 90, n. 2, p. 253–256, abr. 2011.

DALLAGO, B. S. L. et al. Humoral and Cellular Immunity in Chromium Picolinate-Supplemented Lambs. **Biological Trace Element Research**, v. 154, n. 2, p. 196–201, 25 ago. 2013.

DALLAGO, B. S. L. et al. Tissue accumulation and urinary excretion of Cr in chromium picolinate (CrPic)-supplemented lambs. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 35, p. 30–35, 2016.

DALÓLIO, F. S. et al. Dietary chromium supplementation for heat-stressed broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 74, n. 1, p. 101–116, 1 mar. 2018.

DANISI, G.; STRAUB, R. W. Unidirectional influx of phosphate across the mucosal membrane of rabbit small intestine. **Pflugers Arch European Journal of Physiology**, v. 385, n. 2, p. 117–122, 1980.

DEPEW, C. L. et al. Performance and Metabolic Responses of Young Dairy Calves Fed Diets Supplemented with Chromium Tripicolinate. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 11, p. 2916–2923, nov. 1998.

DIAS, B. M.; DE SOUZA, A. F.; DE ZOPPA, A. L. DO V. Avaliação da densidade mineral óssea por meio da densitometria óptica radiográfica em 42 fêmures caninos. 2021.

DIGIROLAMO, D. J.; CLEMENS, T. L.; KOUSTENI, S. The skeleton as an endocrine organ. **Nature Reviews Rheumatology**, v. 8, p. 674, 2012.

DOMÍNGUEZ-VARA, I. A. et al. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. **Animal Feed Science and Technology**, v. 152, n. 1–2, p. 42–49, jun. 2009.

DRANSFELD, E. Modelling post-mortem tenderization—V: Inactivation of calpains. **Meat Science**, v. 37, n. 3, p. 391–409, Jan. 1994.

DURAND, M.; KOMISARCZUK, S. Influence of Major Minerals on Rumen Microbiota. **The Journal of Nutrition**, v. 118, n. 2, p. 249–260, 1 fev. 1988.

EBRAHIMZADEH, S.; FARHOOMAND, P.; NOORI, K. Effects of chromium methionine supplementation on performance, carcass traits, and the Ca and P metabolism of broiler chickens under heat-stress conditions. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 382–387, out. 2013.

EMAMI, A.; GANJKHANLOU, M.; ZALI, A. Effects of Cr Methionine on Glucose Metabolism, Plasma Metabolites, Meat Lipid Peroxidation, and Tissue Chromium in Mahabadi Goat Kids. **Biological Trace Element Research**, v. 164, n. 1, p. 50–57, 6 mar. 2015.

ESTRADA-ANGULO, A. et al. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. **Animal Production Science**, v. 53, n. 4, p. 308, 2013.

- FAVERDIN, P. The effect of nutrients on feed intake in ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 58, n. 3, p. 523–531, 28 ago. 1999.
- FELIG, P. Amino acid metabolism in man. **Annual review of biochemistry**, p. 933–955, 1975.
- FENG, C. et al. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on broiler growth performance: A meta-analysis. **PLOS ONE**, v. 16, n. 4, p. e0249527, 6 abr. 2021.
- FERREIRA DOS SANTOS, F. et al. Performance and behavior of the progeny of ewes fed with different sources and energy feed. **Livestock Science**, v. 260, p. 104953, jun. 2022.
- FERRON, M. et al. Insulin signaling in osteoblasts integrates bone remodeling and energy metabolism. **Cell**, v. 142, p. 296–308, 2010.
- FRUET, A. P. B. et al. Whole grains in the finishing of culled ewes in pasture or feedlot: Performance, carcass characteristics and meat quality. **Meat Science**, v. 113, p. 97–103, mar. 2016.
- FURUSHO-GARCIA, I. F. et al. Estudo alométrico dos cortes de cordeiros Santa Inês puros e cruzas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p. 1416–1422, ago. 2006.
- GALLO, S. B. et al. The colostrum composition of sheep fed with high-energy diets supplemented with chromium. **Small Ruminant Research**, v. 191, p. 106177, out. 2020.
- GAO, X. et al. Influence of different production strategies on the stability of color, oxygen consumption and metmyoglobin reducing activity of meat from Ningxia Tan sheep. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 769–774, fev. 2014.
- GARIBALDI, J.; VIANA, A. **Panorama geral da ovinocultura no mundo e no Brasil**, ano 4, n. 12, Porto Alegre, 2008.
- GHORBANI, A. et al. Performance and metabolic responses of Holstein calves to supplemental chromium in colostrum and milk. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 10, p. 5760–5769, out. 2012.

GIANNINI, E. G. Liver enzyme alteration: a guide for clinicians. **Canadian Medical Association Journal**, v. 172, n. 3, p. 367–379, 1 fev. 2005.

HALDAR, S. et al. Effects of dietary chromium supplementation on glucose tolerance and primary antibody response against peste des petits ruminants in dwarf Bengal goats (*Capra hircus*). **Animal**, v. 3, n. 2, p. 209–217, 2009.

HAMILTON, E. M. et al. Assessment of chromium species dynamics in root solutions using isotope tracers. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 61, 1 set. 2020.

HASHEMIAN, K.; NOROUZIAN, M. A.; MOHAMMADI-SANGCHESHMEH, A. Dietary supplemental chromium and niacin influence the growth performance and fat deposition in lambs. **Animal Production Science**, v. 60, n. 5, p. 618, 2020.

HERNÁNDEZ-GARCÍA, P. A. et al. Effects of feeding yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), organic selenium and chromium mixed on growth performance and carcass traits of hair lambs. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 575–582, mar. 2015.

HUANG, Y. et al. Effects of Supplemental Chromium Source and Concentration on Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Quality of Broilers Under Heat Stress Conditions. **Biological Trace Element Research**, v. 170, n. 1, p. 216–223, 18 mar. 2016.

HUNT, C. D.; STOECKER, B. J. Deliberations and Evaluations of the Approaches, Endpoints and Paradigms for Boron, Chromium and Fluoride Dietary Recommendations. **The Journal of Nutrition**, v. 126, p. 2441S-2451S, set. 1996.

ISOLA, J. G. M. P. Bone structure and regeneration - Literature Review. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 8, 2012.

JAMAL, A.; RASHID, M. A.; MALIK, M. I. Effects of sodium bicarbonate and chromium propionate supplementation on growth performance, blood indices of Beetle bucks under heat stress. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 5, p. 496, 4 out. 2021.

JIN, Y.; ZHOU, Y. Effects of concentrate level and chromium-methionine supplementation on the performance, nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, and meat quality of Tan lambs. **Animal Bioscience**, v. 35, n. 5, p. 677–689, 1 maio 2022.

JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828–836, dez. 2013.

JOO, S.-T. et al. THE RELATIONSHIP BETWEEN COLOR AND WATER-HOLDING CAPACITY IN POSTRIGOR PORCINE LONGISSIMUS MUSCLE. **Journal of Muscle Foods**, v. 6, n. 3, p. 211–226, out. 1995.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. 10. ed. Rio de Janeiro, 2004.

KARGAR, S.; HABIBI, Z.; KARIMI-DEHKORDI, S. Grain source and chromium supplementation: effects on feed intake, meal and rumination patterns, and growth performance in Holstein dairy calves. **Animal**, v. 13, n. 6, p. 1173–1179, 2019.

KEGLEY, E. B.; SPEARS, J. W.; BROWN, T. T. Effect of shipping and chromium supplementation on performance, immune response, and disease resistance of steers. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 7, p. 1956, 1997.

KONIG, H. E.; LIEBICH, H. G. Anatomia dos animais domésticos: texto e atlas coloridos. **Artmed**, p. 205–206, 2004.

KRÓL, E. et al. Chromium (III) Glycinate Complex Supplementation Improves the Blood Glucose Level and Attenuates the Tissue Copper to Zinc Ratio in Rats with Mild Hyperglycaemia. **Biological Trace Element Research**, v. 193, n. 1, p. 185–194, 2 jan. 2020.

KUMAR, D. et al. Influence of different sources of supplementary chromium on growth, immunity and liver function of buffalo calves. **Indian Journal of Animal Nutrition**, v. 38, n. 2, p. 144–150, 2021.

LALHRIATPUII, M. et al. Influence of Dietary Supplementation of Inorganic and Organic Chromium on Body Conformation, Carcass Traits, and Nutrient

Composition in Muscle and Internal Organs of Black Bengal Goats. **Biological Trace Element Research**, 17 ago. 2023.

LASHKARI, S.; HABIBIAN, M.; JENSEN, S. K. A Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition - Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence. **Biological Trace Element Research**, v. 186, n. 2, p. 305–321, 201a.

LAWRIE, R. L.; LEDWARD, D. A. **Meat science**, 2014.

LEE, S. H.; JOO, S. T.; RYU, Y. C. Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 166–170, set. 2010.

LEHNINGER, A. L. et al. **Princípios da bioquímica**. 3. ed. São Paulo, v. 1, 2002.

LEIVA, T. et al. Effects of rumen-protected choline supplementation on metabolic and performance responses of transition dairy cows. **Journal Animal Science**, 2015.

LEIVA, T.; COOKE, R. F.; BRANDÃO, A. P.; BERTIN, R. D.; COLOMBO, E. A.; MIRANDA, V. F. B.; LOURENÇO, L. A. C.; RODRIGUES, S. M. B.; VASCONCELOS, J. L. M. Effects of supplemental calcium salts of palm oil and chromium-propionate on insulin sensitivity and productive and reproductive traits of mid- to late-lactating Holstein × Gir dairy cows consuming excessive energy. **Journal of Dairy Science**. v. 101, p. 491–504, 2018.

LEVI, M. et al. Mechanisms of phosphate transport. **Nature Reviews Nephrology**, v. 15, n. 8, p. 482–500, 5 ago. 2019.

LHAMAS, C. L. Avaliação por densitometria óssea e microtomografia computadorizada 3D de (compósito) manta óssea à base de quitosana hidroxiapatita e colágeno, como reparo de falhas ósseas induzidas experimentalmente em tíbias de ovinos, **Universidade de São Paulo**, 2016.

LI, X. et al. Phosphorus Bioavailability: A Key Aspect for Conserving this Critical Animal Feed Resource with Reference to Broiler Nutrition. **Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 25, maio, 2016.

LI, Y. S. et al. Effects of Dietary Chromium Methionine on Growth Performance, Carcass Composition, Meat Colour and Expression of the Colour-related Gene Myoglobin of Growing-finishing Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, n. 7, p. 1021–1029, 1 jul. 2013.

LIEN, T.-F. et al. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing-finishing pigs. **Animal Science**, v. 72, n. 2, p. 289–296, 18 jan. 2001.

LINDEMANN, M. D. et al. Dietary chromium picolinate additions improve gain: feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 2, p. 457–465, 1 fev. 1995.

LIU, Y. et al. Effects of Organic Chromium Yeast on Performance, Meat Quality, and Serum Parameters of Grow-Finish Pigs. **Biological Trace Element Research**, v. 201, n. 3, p. 1188–1196, 6 mar. 2023.

LUSEBA, D. The effect of selenium and chromium on stress level, growth performance, selected carcass characteristics and mineral status of feedlot cattle. **University of Pretoria (South Africa) ProQuest Dissertations Publishing**, 2001.

MAC NEIL, S. et al. Activation of calmodulin by the essential trace element chromium. **Cell Calcium**, v. 8, n. 3, p. 207–216, jun. 1987.

MAHMOUD, A.; ZANOUNY, A. Impact of organic chromium on some productive performances and physiological responses of growing barki lambs. **Egyptian Journal of Nutrition and Feeds**, v. 21, n. 2, p. 337–344, 1 ago. 2018.

MAMANI-LINARES, L. W.; GALLO, C. B. Meat quality, proximate composition and muscle fatty acid profile of young llamas (*Lama glama*)

supplemented with hay or concentrate during the dry season. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 394–399, jan. 2014.

MATARNEH, S. K. et al. The Conversion of Muscle to Meat. Em: **Lawrie's Meat Science**. Elsevier, p. 159–185, 2017.

MCCARTY, M. F. Anabolic effects of insulin on bone suggest a role for chromium picolinate in preservation of bone density. **Medical Hypotheses**, v. 45, n. 3, p. 241–246, set. 1995.

MCDONALD, P. M.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D. **Animal Nutrition**. 6th edition ed. Longman, London and New York, 2002.

MILLER, R. K. Quality Characteristics. Em: **Muscle Foods**. Boston, MA: Springer US, 1994. p. 296–332.

MOONEY, K. W.; CROMWELL, G. L. Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 10, p. 2661, 1997.

MOONSIE-SHAGEER, S.; MOWAT, D. N. Effect of level of supplemental chromium on performance, serum constituents, and immune status of stressed feeder calves¹. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 1, p. 232–238, 1 jan. 1993.

MOREIRA, P. S. A.; PALHARI, C.; BERBER, R. C. A. Dietary chromium and growth performance animals: a review. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 7, p. 59, 1 jul. 2020.

MORENO-CAMARENA, L. et al. Effects of dietary chromium-yeast level on growth performance, blood metabolites, meat traits and muscle fatty acids profile, and microminerals content in liver and bone of lambs. **Italian Journal of Animal Science**, v. 19, n. 1, p. 1542–1551, 14 dez. 2020.

MOUSAIE, A. et al. Impacts of Feeding Selenium-Methionine and Chromium-Methionine on Performance, Serum Components, Antioxidant Status, and Physiological Responses to Transportation Stress of Baluchi Ewe Lambs. **Biological Trace Element Research**, v. 162, n. 1–3, p. 113–123, 4 dez. 2014.

NRC. **The Role of Chromium in Animal Nutrition**. Washington, D.C.: National Academies Press, 1997.

NRC. **Nutrient Requirements of Small Ruminants**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2007.

OFFENBACHER, E. G.; PI-SUNYER, F. X.; STOECKER, B. J. Chromium. Em: **Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements**. New York, p. 389–412, 1997.

OGNIK, K. et al. The effect of chromium nanoparticles and chromium picolinate in broiler chicken diet on the performance, redox status and tissue histology. **Animal Feed Science and Technology**, v. 259, p. 114326, jan. 2020.

OHH, S. J.; LEE, J. Y. Dietary Chromium-methionine Chelate Supplementation and Animal Performance. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 18, n. 6, p. 898–907, 26 nov. 2005.

OLIVO, R. Alterações oxidativas em produtos cárneos. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes.**, p. 155–162, 2006.

PAGAN, J. D. et al. The effect of chromium supplementation on metabolic response to exercise in thoroughbred horses. **Equine Nutrition and physiology symposium**, p. 96–101, 1995.

PAUL, T. K.; HALDAR, S.; GHOSH, T. K. Growth performance and nutrient utilization in black Bengal bucks (*Capra hircus*) supplemented with graded doses of chromium as chromium chloride hexahydrate. **Journal of Veterinary Science**, v. 6, n. 1, p. 33, 2005.

PEARSON, A. M.; YOUNG, R. B. **Muscle and meat biochemistry**. 1. ed. San Diego, USA: Academic Press, 1989.

PECHOVA, A.; PAVLATA, L. Chromium as an essential nutrient: a review. **Veterinární medicína**, v. 52, n. 1, p. 1–18, 31 jan. 2007.

PEDREIRA, A. C. DE M. S. et al. Quality characteristics of Longissimus dorsi muscle from *Bos indicus* animals treated with vitamin D3. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 637–642, dez. 2003.

PEIXOTO, P. V. et al. Princípios de suplementação mineral em ruminantes. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, p. 195–200, jul. 2005.

PIRAY, A. H.; FOROUTANIFAR, S. Effect of Chromium Supplementation on Performance, Carcass Characteristics, Blood Biochemistry, and Immune Response of Unstressed Broiler Chickens: a Dose-Response Meta-Analysis. **Biological Trace Element Research**, v. 199, n. 12, p. 4713–4720, 17 dez. 2021.

POLIZEL NETO, A. et al. Desempenho e qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 Brangus × Nelore recebendo suplemento com cromo complexado à molécula orgânica na terminação a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 737–745, abr. 2009.

PRESCHA, A. et al. Effects of Exposure to Dietary Chromium on Tissue Mineral Contents in Rats Fed Diets with Fiber. **Biological Trace Element Research**, v. 159, n. 1–3, p. 325–331, 22 jun. 2014.

QUIGLEY, J. D.; HEITMANN, R. N. Effects of propionate infusion and dietary energy on dry matter intake in sheep. **Journal of Animal Science**, v. 69, n. 3, p. 1178, 1991.

RAMA RAO, S. V. et al. Effect of Dietary Supplementation of Organic Chromium on Performance, Carcass Traits, Oxidative Parameters, and Immune Responses in Commercial Broiler Chickens. **Biological Trace Element Research**, v. 147, n. 1–3, p. 135–141, 12 jun. 2012.

ROÇA, R. O. Tecnologia da carne e produtos derivados. Em: **Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial**. 2 ed, p. 201, 2001.

RODRÍGUEZ-GAXIOLA, M. A. et al. Effect of enriched-chromium yeast on growth performance, carcass characteristics and fatty acid profile in finishing Rambouillet lambs. **Small Ruminant Research**, v. 188, p. 106118, jul. 2020.

SAEED, A. A. et al. Effects of dietary chromium supplementation on muscle and bone mineral interaction in broiler chicken. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 42, p. 25–29, jul. 2017.

ŞAHİN, K. et al. The effect of chromium added into basal diet on serum total protein, urea, triglyceride, cholesterol and serum and tissue chromium, zinc, copper levels in rabbits. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 23, p. 109–114, 1999.

SAHIN, K. et al. Optimal Dietary Concentration of Chromium for Alleviating the Effect of Heat Stress on Growth, Carcass Qualities, and Some Serum Metabolites of Broiler Chickens. **Biological Trace Element Research**, v. 89, n. 1, p. 53–64, 2002.

SAHIN, N. et al. Effects of the supplemental chromium form on performance and metabolic profile in laying hens exposed to heat stress. **Poultry Science**, v. 97, n. 4, p. 1298–1305, abr. 2018.

SALES, J.; JANČÍK, F. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: A meta-analysis¹. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 12, p. 4054–4067, 1 dez. 2011.

SANKARAMANIVEL, S. et al. Effect of chromium on vertebrae, femur and calvaria of adult male rats. **Human & Experimental Toxicology**, v. 25, n. 6, p. 311–318, 2 jun. 2006.

SCHEFFLER, T. L.; PARK, S.; GERRARD, D. E. Lessons to learn about postmortem metabolism using the AMPK γ 3R200Q mutation in the pig. **Meat Science**, v. 89, n. 3, p. 244–250, nov. 2011.

SEEDOR, J. G.; QUARTUCCIO, H. A.; THOMPSON, D. D. The bisphosphonate alendronate (MK-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 6, n. 4, p. 339–346, 3 dez. 2009.

SEIFALINASAB, A.; MOUSAIE, A.; DOOMARY, H. Dietary High Chromium-Methionine Supplementation in Summer-Exposed Finishing Lambs: Impacts on Feed Intake, Growth Performance, and Blood Cells, Antioxidants, and Minerals. **Biological Trace Element Research**, v. 200, n. 1, p. 156–163, 15 jan. 2022.

SHARMA, S. et al. Beneficial effect of chromium supplementation on glucose, HbA1C and lipid variables in individuals with newly onset type-2 diabetes. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 25, n. 3, p. 149–153, jul. 2011.

SMOCK, T. M. et al. Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on serum chemistry, complete blood count, and fecal *Salmonella* spp. count in high-risk cattle during the feedlot receiving and finishing periods^{1,2}. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 3, 1 jul. 2020.

STAHLHUT, H. S. et al. Effect of chromium supplementation and copper status on glucose and lipid metabolism in Angus and Simmental beef cows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 128, n. 3–4, p. 253–265, jun. 2006.

STĘPNIOWSKA, A. et al. The Effect of Chromium Nanoparticles and Chromium Picolinate in the Diet of Chickens on Levels of Selected Hormones and Tissue Antioxidant Status. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 45, 24 dez. 2019.

STĘPNIOWSKA, A. et al. Estimated intestinal absorption of phosphorus and its deposition in chosen tissues, bones and feathers of chickens receiving chromium picolinate or chromium nanoparticles in diet. **PLOS ONE**, v. 15, n. 11, 25 nov. 2020.

STOECKER, B. J. Chromium absorption, safety, and toxicity. **The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine**, v. 12, n. 2, p. 163–169, 1999.

SULLIVAN, G. A.; CALKINS, C. R. ranking beef muscles for warner–bratzler shear force and trained sensory panel ratings from published literature. **Journal of Food Quality**, v. 34, n. 3, p. 195–203, 7 jun. 2011.

SUTTLE, N. **Mineral Nutrition of Livestock**. GB: CABI, 2022.

TANG, Z. et al. Assays for alkaline phosphatase activity: Progress and prospects. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 113, p. 32–43, abr. 2019.

TIAN, Y.-Y. et al. Effects of Graded Levels of Chromium Methionine on Performance, Carcass Traits, Meat Quality, Fatty Acid Profiles of Fat, Tissue Chromium Concentrations, and Antioxidant Status in Growing-Finishing Pigs. **Biological Trace Element Research**, v. 168, n. 1, p. 110–121, 7 nov. 2015.

TOGHYANI, M. et al. Chromium Supplementation Can Alleviate the Negative Effects of Heat Stress on Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Lipid Oxidation of Broiler Chicks without Any Adverse Impacts on Blood Constituents. **Biological Trace Element Research**, v. 146, n. 2, p. 171–180, 18 maio 2012.

TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 127–138, set. 2000.

UEDA, Y. et al. Effects of intramuscular fat deposition on the beef traits of Japanese Black steers (Wagyu). **Animal Science Journal**, v. 78, n. 2, p. 189–194, 7 abr. 2007.

UYANIK, F. The Effects of Dietary Chromium Supplementation on Some Blood Parameters in Sheep. **Biological Trace Element Research**, v. 84, n. 1–3, p. 093–101, 2001.

UYANIK, F. et al. Effects of Dietary Chromium Chloride Supplementation on Performance, Some Serum Parameters, and Immune Response in Broilers. **Biological Trace Element Research**, v. 90, n. 1–3, p. 99–116, 2002.

VAN BIBBER-KRUEGER, C. L. et al. Effects of yeast combined with chromium propionate on growth performance and carcass quality of finishing steers¹. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 7, p. 3003–3011, 1 jul. 2016.

VAN HOECK, V. et al. Chromium propionate improves performance and carcass traits in broilers. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 4, p. 480–487, dez. 2020.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583–3597, out. 1991.

- VINCENT, J. B. The Biochemistry of Chromium. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 715–718, 2000.
- VINCENT, J. B. The bioinorganic chemistry of chromium (III). **Polyhedron**, v. 20, n. 1–2, p. 1–26, 2001.
- VINCENT, J. B. Recent Developments in the Biochemistry of Chromium (III). **Biological Trace Element Research**, v. 99, p. 1-16, 2004.
- VINCENT, J. B. The nutritional biochemistry of chromium (III). **Elsevier**, 2007.
- VINCENT, J. B. Chromium: Celebrating 50 years as an essential element. **Dalton Transactions**, v. 39, n. 16, p. 3787–3794, 2010.
- VINCENT, J. B.; LOVE, S. T. The Need for Combined Inorganic, Biochemical, and Nutritional Studies of Chromium (III). **Chemistry & Biodiversity**, v. 9, n. 9, p. 1923–1941, set. 2012.
- VINCENT, J. B. Is the Pharmacological Mode of Action of Chromium (III). **Biological Trace Element Research**, v. 166, n. 1, p. 7–12, 17 jul. 2015.
- VYNCKE, B. W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette Seifen Anstrichmittel**, v. 72, n. 12, p. 1084–1087, 1970.
- WALSH, M. P. Calmodulin and the regulation of smooth muscle contraction. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 135, n. 1, p. 21–41, 1994.
- WANG, G. et al. Factors affecting adipose tissue development in chickens: A review. **Poultry Science**, v. 96, n. 10, p. 3687–3699, out. 2017.
- WARD, T. L.; SOUTHERN, L. L.; BIDNER, T. D. Interactive effects of dietary chromium tripicolinate and crude protein level in growing-finishing pigs provided inadequate and adequate pen space. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 4, p. 1001, 1997.
- WEBB, E. C.; O'NEILL, H. A. The animal fat paradox and meat quality. **Meat Science**, v. 80, n. 1, p. 28–36, set. 2008.

WHITNEY, E. N.; CATALDO, C. B. **Understanding Normal and Clinical Nutrition**. Minnesota, 1983.

WOOL, I. G. Insulin and the regulation of protein synthesis in muscle. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 31, n. 2, p. 185–191, 2 set. 1972.

XI, G. et al. Effect of Chromium Picolinate on Growth Performance, Carcass Characteristics, Serum Metabolites and Metabolism of Lipid in Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 14, n. 2, p. 258–262, 1 fev. 2001.

YAMAMOTO, A.; WADA, O.; MANABE, S. Evidence that chromium is an essential factor for biological activity of low-molecular-weight, chromium-binding substance. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 163, n. 1, p. 189–193, ago. 1989.

ZHA, L. et al. Effects of chromium nanoparticle dosage on growth, body composition, serum hormones and tissue chromium in Sprague-Dawley rats. **Journal of Zhejiang University SCIENCE B**, v. 8, n. 5, p. 323–330, abr. 2007.

ZHOU, B. et al. Effect of Dietary Yeast Chromium and L-Carnitine on Lipid Metabolism of Sheep. **Biological Trace Element Research**, v. 155, n. 2, p. 221–227, 22 nov. 2013.