

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

BRUNA SOUZA DE LIMA CONY

**EFEITO DE DIFERENTES DOSES E PERÍODOS DE SUPLEMENTAÇÃO DE
ZINCO EM DIETAS DE FÊMEAS SUÍNAS GESTANTES**

Porto Alegre

2023

BRUNA SOUZA DE LIMA CONY

**EFEITO DE DIFERENTES DOSES E PERÍODOS DE SUPLEMENTAÇÃO DE
ZINCO EM DIETAS DE FÊMEAS SUÍNAS GESTANTES**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do Grau de Mestre em Zootecnia, na
Faculdade de Agronomia, da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Professora Dra. Ines Andretta

PORTO ALEGRE

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Cony, Bruna Souza de Lima
EFEITO DE DIFERENTES DOSES E PERÍODOS DE
SUPLEMENTAÇÃO DE ZINCO EM DIETAS DE FÊMEAS SUÍNAS
GESTANTES / Bruna Souza de Lima Cony. -- 2023.
59 f.
Orientadora: Ines Andretta.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. suíno. 2. gestação. 3. microminerais. 4. zinco.
5. porcas. I. Andretta, Ines, orient. II. Título.

Bruna Souza de Lima Cony
Zootecnista

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 30.03.2023
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 07/06/2023
Por

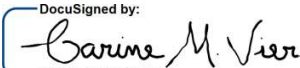
DocuSigned by:

034B8B110A234A1...

INES ANDRETTA
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientadora

Sergio Luiz Vieira  Assinado de forma digital por
Sergio Luiz Vieira
Dados: 2023.06.14 11:01:57 -03'00'

Sergio Luiz Vieira
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia


DocuSigned by:

CF19D48A02FB43D...

Carine Mirela Vier
Genus PIC


DocuSigned by:

7FDC52E16E7B4EC...

Danyel Bueno Dalto
Agriculture and Agri-Food Canada

DocuSigned by:

D91736F1DAFD4F2...

Raquel Lunedo
Master Agroindustrial, LTDA

Documento assinado digitalmente
 CARLOS ALBERTO BISSANI
Data: 16/06/2023 15:09:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

DEDICATÓRIA

Aos meus avôs, Luiz Gonzaga Cony e
Euclides Vani Rocha da Rosa *in-memorian*
que hoje, apesar de estarem fazendo muita
falta aqui, estão nos cuidando e guiando lá de
cima. E garanto que o céu nunca mais foi o
mesmo com a presença desses dois.

*Feliz fui eu que tive a oportunidade de
conviver com cada um. Obrigada por tudo
sempre!*

Com muito amor, Bruna.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Elissandra e Carlos Alberto pelos cuidados e preocupações;

Às minhas tias Elizângela e Michelle, tios Marco Aurélio e Luiz Henrique, ao meu padrasto Fernando, irmãos Fernando Jr. e Carlos Eduardo e primos Lucas, Bárbara, Victor H. Shin-iti, Enzo Daisaku, Alice e Davi; por serem essa família tão querida e especial.

Às minhas rainhas Catarina e Marlene, as flores mais belas do nosso jardim;

E em especial, ao meu noivo Matheus de Moura Fagundes, pelo companheirismo e apoio que sempre teve e forneceu a mim. E à sua família, por todo carinho.

Agradeço também ao meu querido amigo Caio Pegorini e aos meus amigos da equipe LEZO; Nathalia Camargo, Júlio Vieira, Aires Santos, Jone Silva, Gabriel Martins, Gabriela Galli e Camila Carvalho.

Todos vocês fizeram dos dias difíceis, alegria. Essa batalha é nossa!

Agradeço imensamente a oportunidade que tive, dar continuidade ao projeto Zinco foi a realização de um sonho. Pela confiança e por toda ajuda no desenvolvimento deste projeto, agradeço minha orientadora Ines Andretta e todos que acreditaram e confiaram em mim na execução deste, Raquel Lunedo, Dani Perondi, Carine Vier e Uislei Orlando, muito obrigada!

Alguns já foram mencionados, mas não posso deixar de complementar os nomes daqueles que estiveram comigo na execução a campo deste projeto, mesmo que em curtos períodos; Carolina Franceschi, Bruna Schroeder, Alexandra Moller, Alexandre Mariani, Monalisa Camargo, Willian Zadra e Rodrigo Vogt. A ajuda de vocês foi fundamental e os dados são nossos. De forma especial, agradeço minha colega e amiga Edilaine Araújo pela convivência e pelo apoio fornecido durante a condução deste projeto até os dias atuais.

Acho que de alguma forma o meu coração já é catarinense e grande parte disso se deve a equipe Master Agroindustrial. Assim, agradeço também ao Ademilso e Wilson pela assessoria que recebi na unidade Carijos, em Papanduva e à toda a sua equipe, os quais grande parte chamo de amigos hoje. Em especial, à Dionara e às meninas do GAROTAS MASTER CARIJOS e os rapazes Leandro e Anderson, os quais muitas vezes me ajudaram em seu período de folga. Vocês tornaram tudo mais fácil! Agradeço também às minhas amigas Letícia e Dhenifer, ter a amizade de vocês é saber que nunca estarei desamparada em SC.

Encerrar esse ciclo curto e intenso chamado MESTRADO foi desafiador, mas muito gratificante. Obrigada a todos!

'Más alto que los Cóndores'

Victor Ostrowski (1954)

Citado por Marco Aurélio Cony, Madri, 2009.

EFEITO DE DIFERENTES DOSES E PERÍODOS DE SUPLEMENTAÇÃO DE ZINCO EM DIETAS DE FÊMEAS SUÍNAS GESTANTES¹

Autora: Bruna Souza de Lima Cony
Orientadora: Ines Andretta

O objetivo deste estudo foi avaliar a suplementação de zinco (Zn) nas dietas de fêmeas suínas em diferentes doses e períodos gestacionais. O óxido de Zn (ZnO) foi utilizado como fonte suplementar e fêmeas suínas multíparas (n = 417) foram distribuídas aleatoriamente, de acordo com suas condições corporais e ordem de parto, para 1 dos 3 tratamentos dietéticos: *Controle* (CON), dieta à base de milho e farelo de soja contendo 125 ppm de Zn, consumo total diário de 250 mg de Zn durante toda a gestação, nível de Zn comumente utilizado durante a gestação; *Suplementação Total* (HZn114), dieta CON + 600 mg de Zn suplementar, consumo total diário de 850 mg de Zn durante toda a gestação, alto nível de Zn suplementado durante todo o período gestacional; e *Suplementação Parcial* (HZn34), dieta CON + 600 mg de Zn suplementar, consumo total diário de 850 mg de Zn a partir dos 80 dias de gestação até o parto, alto nível de Zn suplementado no final do período gestacional. As análises estatísticas foram realizadas por análise de variância, interpretada a nível de 5 e 10% de probabilidade, seguidas por teste de Tukey-Kramer para comparações múltiplas. A suplementação de Zn apresentou efeito em variáveis de vitalidade em neonatos, com melhora nos níveis glicêmicos (P < 0,001), aumento na integridade de cordões umbilicais (P = 0,004) e redução de 9% na mortalidade pré-desmame (P = 0,012), em que os grupos HZn114 e HZn34 não diferiram entre si, mas diferiram do grupo CON nestas variáveis. O grupo HZn34, no entanto, apresentou resultados intermediários (não diferindo da HZn114 e CON) na maioria das demais variáveis. O grupo HZn114 apresentou melhora nas características gestacionais, de parto e de nascimento, com aumento de 33% no peso da placenta (P = 0,099), aumento de 10% na concentração dos sólidos totais do colostro (P = 0,085), redução de 28% na presença de mecônio (P < 0,001) e aumento de 16% no consumo de colostro pelos recém nascidos (P = 0,049). Animais cujas mães pertenciam ao grupo HZn114 nasceram 4% mais pesados (P = 0,105). Além disso, o mesmo grupo apresentou redução de 26% nos nascidos pequenos nas leitegadas (P = 0,028). Todos esses fatores impactaram no crescimento corporal da progênie do grupo HZn114, que tiveram melhor peso ao desmame (2%; P = 0,041), ao final da fase de creche (2%; P = 0,096) e ao final da fase de terminação (3%; P = 0,029). Em conclusão, a suplementação de Zn para a fêmea suína é importante durante a gestação e quando realizada em níveis elevados, tem efeito positivo na progênie. Quanto mais cedo ocorre a suplementação de Zn durante o período gestacional (demostrado pelo HZn114), melhor o desempenho nos processos envolvidos.

Palavras-chave: suíno; gestação; microminerais; zinco; porcas; leitegada; desempenho.

¹Dissertação de mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Nutrição e Metabolismo Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (59 p.) Março, 2023.

EFFECT OF DIFFERENT DOSES AND PERIODS OF ZINC SUPPLEMENTATION IN GESTATION FEMALE SWINE DIETS¹

Author: Bruna Souza de Lima Cony

Supervisor: Ines Andretta

The objective of this study was to evaluate zinc (Zn) supplementation in the diets of female swine at different doses and gestational periods. Zn oxide (ZnO) was used as a supplementary source and multiparous sows (n = 417) were randomly assigned, according to their body condition and parturition order, to 1 of the 3 dietary treatments: Control (CON), a diet based on corn and soybean containing 125 ppm of Zn, total daily intake of 250 mg of Zn throughout gestation, Zn level commonly used during gestation; Total Supplementation (HZn114), CON diet + 600 mg of supplemental Zn, total daily intake of 850 mg of Zn throughout gestation, high level of Zn supplemented during the complete gestational period; and Partial Supplementation (HZn34), CON diet + 600 mg of supplemental Zn, total daily intake of 850 mg of Zn from 80 days of gestation until farrowing, high level of Zn supplemented at the end of the gestational time. Statistical analyzes were performed using analysis of variance, interpreted at 5 and 10% probability levels, followed by the Tukey-Kramer test for multiple comparisons. Zn supplementation showed an effect in vitality variables in neonates, with improvement in glycemic levels ($P < 0.001$), an increase in umbilical cords integrity ($P = 0.004$), and a 9% reduction in pre-weaning mortality ($P = 0.012$), in which the HZn114 and HZn34 groups did not differ among themselves, but differed from the CON group in these variables. However, the HZn34 group showed intermediate results (not different from HZn114 and CON) in most other variables. The HZn114 group showed improvement in gestational, farrowing, and birth characteristics, with a 33% increase in placental weight ($P = 0.099$), a 10% increase in colostrum total solids concentration ($P = 0.085$), a reduction of 28 % in the presence of meconium ($P < 0.001$) and a 16% increase in colostrum consumption by newborns ($P = 0.049$). Animals whose mothers belonged to the HZn114 group were born 4% heavier ($P = 0.105$). Furthermore, the same group had a 26% reduction in small births in litters ($P = 0.028$). All these factors impacted the body growth of the progeny of the HZn114 group, which had better weight at weaning (2%; $P = 0.041$), at the end of the nursery phase (2%; $P = 0.096$) and at the end of the finishing phase (3%; $P = 0.029$). In conclusion, Zn supplementation for female swine is important during gestation and when performed at high levels, it has a positive effect on the progeny. The earlier the Zn supplementation occurs during the gestational period (demonstrated by HZn114), the better the performance in the involved processes.

Keywords: swine; gestation; trace minerals; zinc; sows; litter; performance.

¹Master of Science dissertation in Animal Science, Animal Nutrition and Metabolism, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (59 p.) April 2023.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Classificação dos minerais essenciais.....	17
Tabela 2. Recomendações de Zn para matrizes suínas.....	25

CAPÍTULO II

Table 1. Reproductive performance of sows supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	37
--	----

Table 2. Farrowing traits of sows supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	38
--	----

Table 3. Serum biochemistry of sows supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	39
--	----

Table 4. Birth weight (BW) and litter performance of piglets whose mothers were supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	40
--	----

Table 5. The vitality of piglets at birth from mothers supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	41
---	----

Table 6. Serum biochemistry of piglets at birth whose mothers were supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	42
---	----

Table 7. Weaning to finishing performance of piglets whose mothers were supplemented with zinc at different doses and periods of the gestational phase.....	43
--	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Minerais na Alimentação de Não-Ruminantes	16
2.2. Essencialidade do Zinco	17
2.3. Zinco nos Processos Maternos	18
2.4. Consumo e Absorção de Zinco	20
2.5. Zinco nas Dietas de Fêmeas Suínas Gestantes	24
3. OBJETIVOS	28
3.1 Objetivo Geral	28
3.2. Objetivo Específico	28
CAPÍTULO II	29
<i>Article</i>	30
Zinc supplementation in diets to gestating sows	30
Simple Summary:	30
Abstract:	31
Introduction	32
Materials and Methods	33
<i>Housing and Feeding</i>	33
<i>Experimental Design and Treatments</i>	33
<i>Measurements</i>	34
<i>Statistical Analysis</i>	36
Results	37
<i>Reproductive Performance</i>	37
<i>Parturition Characteristics</i>	37
<i>Serum Biochemistry in Sows</i>	38
<i>Progeny Health and Performance</i>	39
Discussion	44
Conclusions	46
References	47
CAPÍTULO III	50
4. DISCUSSÃO GERAL	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O zinco (Zn) é classificado como micromineral essencial e assim como os demais minerais nesta categoria, possui baixo peso molecular e está presente em baixas concentrações como constituinte extracelular sanguíneo ou eletrólito (SAKAMURA *et al.*, 2014; SWENSON; REECE, 1996). É necessário, portanto, em pequenas quantidades pelo organismo, cuja concentração e exigência diária é expressa em miligrama por quilo ou partes por milhão (SAKAMURA *et al.*, 2014; SWENSON; REECE, 1996). Características estas que o insere à um grupo de elementos químicos inorgânicos conhecidos por “elementos-traços” ou “oligoelementos” (CRUZ *et al.*, 2011; MCDOWELL, 2003; WATANABE, 2010).

O Zn atua como componente estrutural celular e enzimático em diferentes reações metabólicas. Assim, a presença de Zn no organismo está estritamente relacionada ao funcionamento sadio de sistemas basais proliferativos, como os sistemas nervoso, reprodutivo e imunológico, com impacto direto no crescimento e desenvolvimento corporal (MCDOWELL, 2003; NELSON; COX, 2017; RINK; GABRIEL, 2000). Apesar disso, a definição nutricional que determina a essencialidade de Zn está relacionada ao organismo não ser capaz de sintetizá-lo e, dessa forma, sua aquisição ser dependente principalmente da ingestão de alimentos (CRUZ *et al.*, 2011; SAKAMURA *et al.*, 2014; WATANABE, 2010).

Contudo, somente o consumo de Zn não garante sua absorção e aproveitamento corporal. Existem condições ligadas à sua biodisponibilidade (LA FRANO *et al.*, 2014), algumas desconhecidas ou inexploradas. Outras condições estão ligadas à sua necessidade, geralmente aumentada nas fases de gestação, infância, puberdade e senilidade (HAMBIDGE *et al.*, 2008). Devido a esses fatores, a deficiência de Zn se torna comum em algumas espécies. Em termos de saúde humana, estima-se que dois bilhões de pessoas são afetadas por sua deficiência (WESSELS *et al.*, 2017) com consequências variadas de acordo com a fase de vida (TRAN *et al.*, 2015; WESSELS *et al.*, 2017).

A deficiência de Zn também pode acometer animais da espécie suína, ou subníveis suplementares podem impactar o desempenho dos animais a campo. Entretanto, quando o assunto é exigência ou níveis suplementares de Zn para fêmeas suínas gestantes, a literatura se mostra escassa. Na prática, apesar da exigência nutricional de matrizes suínas gestantes ser dependente de fatores como fase gestacional, condição corporal, ordem de parto e histórico de

prolificidade, as fêmeas são alimentadas com a mesma dieta padrão durante todo o período gestacional e apenas o nível de alimentação é ajustado. Nesse contexto, é comum se trabalhar com limitações ou excessos de alguns nutrientes em determinados estágios da gestação (FERREIRA *et al.*, 2021; GAILLARD *et al.*, 2019, 2020), fato este que se agrava à uma literatura escassa. As recomendações de Zn para porcas reprodutoras podem ser encontradas em algumas tabelas nutricionais, presentes em manuais. No entanto, as recomendações deste micromineral são oriundas de poucos trabalhos, conduzidos há anos e em alguns casos, estas não diferem os diferentes períodos que envolvem a maternidade, as fases de gestação e lactação (DE BLAS *et al.*, 2013; MEISINGER, 2010; NRC, 2012; ROSTAGNO, 2017; TYBIRK, 2020).

O aumento substancial da produtividade das fêmeas suínas de genéticas mais modernas e as mudanças nas suas características corporais, aliados às possíveis falhas nutricionais, geram a hipótese de que os requerimentos de Zn possam não estar sendo atendidos nos sistemas comerciais de produção. Tendo em vista que a gestação é um período fisiológico complexo e altamente coordenado, a falta de conhecimento ou de avanço nos processos nutricionais envolvidos nesta fase podem impactar na saúde da fêmea e da progênie; com efeitos nos próximos ciclos produtivos em ambas as categorias (GERNAND *et al.*, 2016). Estudos realizados em ratos e humanos mostram que a deficiência de Zn em animais na fase de gestação está associada ao retardo do crescimento intrauterino, diminuição subsequente do peso ao nascer, subdesenvolvimento do sistema imunológico e neurológico competente e aumento da mortalidade pré-desmame (HURLEY; MUTCH, 1973; SIMMER; THOMPSON, 1985).

O uso do Zn na alimentação dos suínos é amplamente difundido e altos níveis suplementares são geralmente utilizados na fase de creche para controle de diarreia e melhora do desempenho no período pós-desmame (MUNIZ *et al.*, 2010). Todavia, seu uso excessivo pode estimular resistência da microbiota intestinal à antimicrobianos e, devido às chances de uma interação adversa entre minerais, aumentar os níveis excretados para o ambiente (LEESON, 2008; RUTZ; MURPHY, 2009). O aumento nos níveis excretados causa implicações do ponto de vista ambiental, pois pode se tornar tóxico para plantas, microrganismos e para o solo, além de ter implicações relacionadas a saúde pública, especialmente pela possibilidade de ocasionar resistência microbiana

cruzada (DEBSKI, 2016). Por conta disso, alguns países restringiram seu uso nesta fase produtiva (EUROPEAN COMMISSION, 2018). Ao considerar esses cenários, estudos que se aproximem cada vez mais de uma exigência nutricional otimizada, aplicada às condições sanitárias, fisiológicas e metabólicas que uma fêmea suína reprodutora enfrenta, são essenciais. Não somente do ponto de vista ambiental e econômico, como também de saúde, com implicações inclusive para outras espécies, visto a similaridade da fisiologia suína com a humana e as chances de interação cruzada.

Diante de tais circunstâncias, este trabalho foi proposto e desenvolvido com o objetivo de explorar os efeitos do Zn quando adicionado de forma suplementar nas dietas de fêmeas suínas gestantes. O óxido de Zn foi utilizado como fonte suplementar e um trabalho a campo em cenário comercial foi realizado, a fim de testar diferentes doses e períodos suplementares em respostas maternas e da progênie. Neste contexto, a fim de entender possíveis ações desse micromineral, divulgar e argumentar os resultados encontrados, uma revisão bibliográfica (Capítulo I) e um artigo científico (Capítulo II) foram escritos e serão apresentados nesta dissertação, seguidos de discussão e considerações finais (Capítulo III).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Minerais na Alimentação de Não-Ruminantes

Os minerais são elementos inorgânicos que apresentam composição química bem definida e estão presentes naturalmente no ambiente, nos alimentos e nos tecidos animais (MCDOWELL, 2003). O plasma sanguíneo de animais adultos, contém 91 a 92% de água e 8 a 9% de sólidos. Os constituintes inorgânicos, minerais eletrólitos, atingem cerca de até 1% do plasma e são utilizados na formação óssea e na formação de proteínas e lipídeos nos músculos, órgãos, células sanguíneas, outros tecidos e de várias enzimas. São, portanto, componentes estruturais de biomoléculas e cofatores enzimáticos, considerados fundamentais por serem nutrientes ativos de diversas funções metabólicas. Atuam na defesa contra microrganismos como precursores de células imunológicas no plasma sanguíneo. Além disso, são responsáveis pela ativação hormonal, pela regulação da pressão osmótica e pela manutenção do equilíbrio ácido-básico-celular, o que interfere diretamente no crescimento e na manutenção dos tecidos (SWENSON; REECE, 1996).

Dos elementos inorgânicos ou elementos minerais, sete são essenciais ou imprescindíveis a toda forma de vida e mais 20 são comprovadamente essenciais ou condicionalmente essenciais para os animais (essenciais apenas em determinadas condições, como por exemplo períodos de estresse). O Zn juntamente com o carbono, cobre, enxofre, fósforo, hidrogênio e oxigênio compreende este grupo de sete elementos imprescindíveis à vida (SAKAMURA et al., 2014). A falta ou quantidade insuficiente destes de acordo com o tempo, idade, sexo e espécie podem, conseqüentemente, reduzir desempenho ou resultar em sintomas severos de deficiência (BARREA et al., 2020; SAKAMURA et al., 2014). Quantidades excessivas, por outro lado, podem levar a quadros de toxicidade (SAKAMURA et al., 2014). Os minerais são classificados em macro e microminerais (Tabela 1) de acordo com as suas concentrações nos tecidos, o que indica suas necessidades diárias (MCDOWELL, 2003; SAKAMURA et al., 2014).

Tabela 1. Classificação dos minerais essenciais.

MACROMINERAIS		MICROMINERAIS	
Cálcio (Ca)	Enxofre (S)	Zinco (Zn)	Iodo (I)
Potássio (K)	Magnésio (Mg)	Ferro (Fe)	Selênio (Se)
Fósforo (P)	Sódio (Na)	Cobre (Cu)	Flúor (F)
Cloro (Cl)		Cobalto (Co)	Molibdênio (Mo)
		Cromo (Cr)	Manganês (Mn)
		Níquel (Ni)	Sílica (Si)
		Vanádio (V)	Arsênio (As)

Fonte: Adaptado de McDowell (2003).

Embora estejam presentes na maioria dos grãos provenientes de ração, alguns minerais encontram-se em níveis inadequados para atender as necessidades de animais não-ruminantes, como os suínos (ALLOWAY, 2009; SAMPATH *et al.*, 2023). Ou ainda, quando presentes em quantidades significativas, alguns fatores nutricionais podem interferir na biodisponibilidade dos minerais e tornar sua absorção intestinal baixa (COZZOLINO, 1997). Dessa forma, para garantir o consumo, contribuir com a saúde e com o desempenho dos animais, se torna comum a adição isolada de macro e microminerais nas dietas, como forma suplementar às concentrações presentes nos ingredientes (FACCIN *et al.*, 2023; SAMPATH *et al.*, 2023).

Os microminerais, como o Zn, por serem necessários em menores quantidades, são inseridos nas dietas por meio de pré-misturas minerais associadas ou não com pré-misturas vitamínicas. Estão presentes nas dietas principalmente em sua forma inorgânica, todavia, existem também os minerais quelatados, ligados às moléculas orgânicas (normalmente aminoácidos) por processos físico-químicos. Por conta disso, esses também são chamados de 'minerais orgânicos' (CARCIOFI, 2008).

2.2. Essencialidade do Zinco

O Zn é distribuído amplamente em plantas e tecidos animais. Como micromineral essencial, o Zn é cofator para mais de 300 enzimas, atua como integrante estrutural, íon central, modulador da atividade e coordenador do número enzimático, o que inclui enzimas vitais como a anidrase carbônica, a

carboxipeptidase, a fosfatase alcalina, a desidrogenase láctica e desidrogenase glutâmica (COLEMAN, 1992; RINK; GABRIEL, 2000; SWENSON; REECE, 1996; VALLEE; FALCHUK, 1993). O Zn desempenha funções também na mineralização óssea, na síntese proteica, na regulação hormonal, na imunidade mediada por células, na expressão gênica e na diferenciação celular (MCDOWELL, 2003). Assim, inúmeras funções celulares são influenciadas pela concentração de Zn no organismo. Fatores ligados à síntese, transcrição e replicação genética (DNA e RNA) são particularmente dependentes deste micromineral, ou seja, a proliferação celular não ocorre na ausência de Zn. Nesse sentido, sistemas celulares altamente proliferativos, como os sistemas nervoso, reprodutivo e imunológico são indicadores mais sensíveis à sua deficiência (NELSON; COX, 2017; RINK; GABRIEL, 2000).

2.3. Zinco nos Processos Maternos

O período de gestação é determinado pelo tempo entre a fecundação e o parto, sendo eles o início e o término do período respectivamente (SWENSON; REECE, 1996). Assim, uma gestação bem-sucedida depende de ações conjuntas adequadamente reguladas em processos reprodutivos, que incluem a fertilização e a implantação embrionária; bem como, a placentação e posterior crescimento fetal nos processos gestacionais (HOSSEINI et al., 2020; KRIDL *et al.*, 2016; VEENSTRA VAN NIEUWENHOVEN; HEINEMAN; FAAS, 2003). Esses processos são subordinados por sinalizações e respostas hormonais comandadas pelo sistema nervoso central de modo simultâneo à constantes adequações do sistema imunológico para reconhecimento e manutenção da gestação (KRIDL *et al.*, 2016; MILLER et al., 2022; SWENSON; REECE, 1996). Ou seja, praticamente todos os sistemas fisiológicos sofrem mudanças, o que classifica o período gestacional como crítico na vida das fêmeas que precisam fornecer nutrientes essenciais e oxigênio ao feto, em conjunto ao preparo de uma lactação subsequente (ABO *et al.*, 2022).

O Zn está envolvido em diversas etapas gestacionais, atua desde a implantação do embrião, produção hormonal, vascularização, regulação da transferência de nutrientes, morfogênese, organogênese até o desenvolvimento imunológico e neurológico fetal (GERNAND et al., 2016). Desse modo, a nutrição por meio da administração terapêutica de Zn poderia regular seu nível plasmático

e causar benefícios às etapas que compreendem os processos maternos (BARREA et al., 2020; RINK; GABRIEL, 2000).

Os processos reprodutivos que envolvem a fertilidade estão relacionados a fatores genéticos, como a estrutura anatômica do aparelho reprodutivo feminino (MALOPOLSKA *et al.*, 2021; RECKZIEGEL; ARAÚJO, 2019) e a fatores ambientais ligados à saúde reprodutiva, como o estado nutricional do indivíduo ou animal (CARDENAS; CORVALAN; IMARAI, 1998; ZHOU *et al.*, 2022). Estudos mostram que o entendimento do conceito “microambiente imune reprodutivo”, o qual está relacionado à saúde imunológica de órgãos reprodutivos, como testículos, ovários e tecidos materno-fetais, pode auxiliar na redução de índices de infertilidade e doenças ligadas à reprodução (CARDENAS; CORVALAN; IMARAI, 1998; ZHOU *et al.*, 2022). Detalham ainda, a importância das células imunológicas em manter saudáveis os processos fisiológicos nos tecidos reprodutivos e, conseqüentemente, em atuar na manutenção deste microambiente imune (ZHOU *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o Zn como eletrólito sanguíneo é componente estrutural de células imunológicas, com efeito direto na produção, maturação e função dos leucócitos. Além disso, o Zn influencia a ação de imunoestimulantes, os quais são responsáveis pelo aumento da atividade imunológica (RINK; GABRIEL, 2000). Infecções agudas levam a uma redistribuição de Zn para o fígado (seu principal armazenador) e diminui o *pool* sérico imunologicamente importante (WEISS et al., 1995). Sua suplementação então, poderia apresentar efeitos reprodutivos positivos, com impacto na saúde de órgãos e tecidos fundamentais ao sucesso gestacional.

Uma atuação semelhante do Zn pode ser esperada em outros processos fundamentais, como a placentação. A placenta funciona como um porto de acesso à circulação materna para captação de substâncias nutricionais e excreção de resíduos metabólicos (SWENSON; REECE, 1996). A estrutura placentária age semelhante a um corpo estranho no organismo materno, é complexa e dinâmica, exige proliferação, invasão tecidual (em suínos, essa invasão ocorre de forma superficial), angiogênese, remodelação vascular e tolerância moduladora (SUN *et al.*, 2021; TAN *et al.*, 2022). Para garantir crescimento e desenvolvimento fetal, a placenta apresenta uma relação dinâmica com o sistema imunológico, o qual facilita e adapta o organismo às

constantes mudanças que envolvem o período gestacional (MOORE *et al.*, 2022; NORWITZ, 2006; ZHANG *et al.*, 2022). Estudos atuais mostram que a composição da dieta consumida durante o período gestacional pode causar alterações placentárias e restringir ou aumentar o aporte de nutrientes maternos ao feto (BONDARCZUK *et al.*, 2023; LI *et al.*, 2019; TIAN *et al.*, 2018). Bondarczuk *et al.* (2023), descreveram que camundongos fêmeas, submetidos a dietas com altos teores de gorduras em período gestacional, apresentaram alterações na histomorfologia placentária, capazes de causar alterações no transporte de gases e nutrientes entre a mãe e o feto.

Nesse sentido, ao atuar na homeostase do sistema imunológico e funções basais do organismo, a suplementação de Zn poderia apresentar efeitos positivos também no período gestacional, com melhora na saúde da interface materno-fetal, no desenvolvimento placentário, e resultar em melhora do crescimento fetal (BARREA *et al.*, 2020; ERLEBACHER, 2013; RINK; GABRIEL, 2000). A deficiência de Zn impediu diferenciação de trofoblasto (células da camada placentária), expressão de proteínas e reduziu o tamanho e peso da placenta em camundongos (GERNAND *et al.*, 2016).

Outros estudos mostram que a deficiência de Zn no período gestacional de ratos e humanos foi associada ao retardo do crescimento intrauterino, diminuição subsequente do peso ao nascer, subdesenvolvimento do sistema imunológico e neurológico competente e aumento da mortalidade pré-desmame (HURLEY; MUTCH, 1973; SIMMER; THOMPSON, 1985). Segundo Sanusi *et al.* (2021), a deficiência materna de Zn está associada a modificações epigenéticas na prole, que induzem patologias e aumentam o risco de doenças na vida adulta. Em suínos, o aumento das concentrações de Zn poderia melhorar a qualidade da leitegada, reduzir a incidência de leitões natimortos (HILL; MILLER; STOWE, 1983), aumentar o tamanho e o peso ao nascer da ninhada (PAYNE *et al.*, 2006). Contudo, são poucas as evidências científicas que buscam avaliar a necessidade deste micromineral, em termos de níveis ideais de consumo e absorção, nos processos maternos das diferentes espécies.

2.4. Consumo e Absorção de Zinco

O Zn pode ser encontrado em maiores concentrações nos alimentos de origem animal, os quais se apresentam de forma mais biodisponível e são

absorvidos mais facilmente. Além disso, está presente em altas concentrações nos grupos alimentares das leguminosas e oleaginosas (MAFRA; COZZOLINO, 2004; ROOHANI *et al.*, 2013). Na nutrição animal, é incluído nas dietas em pequenas quantidades, expresso em miligrama por quilo (mg/kg) ou partes por milhão (ppm), geralmente oriundo de compostos inorgânicos, de origem geológica ou sintética. A escolha do suplemento ou fonte mineral a ser usada nas dietas está fortemente ligada ao custo e a facilidade de aquisição. Por isso, o sulfato de Zn (ZnSO₄) e o óxido de Zn (ZnO) são as formas inorgânicas mais utilizadas nas dietas de suínos (LIU *et al.*, 2021; SAKAMURA *et al.*, 2014).

Apenas a ingestão de Zn, no entanto, não garante a absorção e utilização deste nutriente pelo organismo, pois existem fatores relacionados com a sua biodisponibilidade, ou seja, com a efetiva absorção e disponibilidade de Zn no sistema sanguíneo para realização de funções fisiológicas (LA FRANO *et al.*, 2014). Nesse sentido, o Zn pode interagir com outros componentes da dieta e ter a sua absorção afetada. Uma melhor absorção de Zn pode ocorrer quando a dieta ingerida apresenta diferentes aminoácidos, como a glicina e a metionina, por exemplo. Por outro lado, a absorção pode ser reduzida ou aumentada quando há interação entre os minerais, como Ca, Cu e Fe (COZZOLINO, 1997; GREGER; WEAVER, 1989).

Dessa forma, proporções que visem a maximização dos nutrientes ou estratégias de uso de componentes que melhoram a absorção (que visem uma quelação espontânea) devem ser estudadas. Segundo Dalto *et al.* (2019), analisando as relações de Zn e Cu em suínos, foi possível comprovar uma interação dietética entre os microminerais, isto é, suas quantidades dietéticas e proporções podem afetar a disponibilidade de ambos. O estudo mostrou que altos níveis de Zn na dieta podem afetar a disponibilidade de Cu e em período prolongado, ocasionar sua deficiência. De forma contrária, um efeito positivo dos níveis de Cu na dieta foi demonstrado sobre a disponibilidade de Zn, o que destaca a importância de um equilíbrio dietético. No estudo, a inclusão de 120 mg de Zn (os animais foram suplementados com um bolus equivalente ao consumo de 2 kg de ração e a concentração de Zn foi de 60 mg/kg) proporcionou um melhor equilíbrio entre a absorção de Zn e Cu na fase de crescimento em suínos. O estudo concluiu que quando a taxa Zn/Cu é menor (pouca diferença entre os níveis de Zn e Cu), a absorção de ambos se torna melhor.

O processo inicial de absorção de Zn consiste na transferência de Zn do lúmen intestinal para a célula da mucosa. Esse processo ocorre por meio da borda em escova (ápice das células absorptivas) e é mediado por carreadores, os quais dependem da interação do Zn em uma forma quelatada (MCDOWELL, 2003). Por esta razão, a biodisponibilidade do Zn pode diferir conforme as formas químicas em que os elementos são combinados e, em suma, conforme a fonte de Zn utilizada. Portanto, apesar de aumentar os custos da dieta, o uso de quelatos ou minerais orgânicos também podem ser estratégias a serem consideradas para facilitar e melhorar a absorção e o desempenho animal, assim como, para reduzir os níveis de Zn excretados. Área de estudo, inclusive, que tem crescido nos últimos anos (LIU *et al.*, 2021; MUNIZ *et al.*, 2010; VILLAGÓMEZ-ESTRADA, 2020).

A absorção do Zn também pode ser afetada por altas quantidades de fitatos no alimento. Isso acontece porque os ácidos fítics possuem a capacidade de ligar-se ao micromineral, formando complexos indigestíveis para animais não-ruminantes (JOU *et al.*, 2012; LONNERDAL *et al.*, 2011; SREENIVASULU *et al.*, 2008). Desse modo, para evitar a sua deficiência, pesquisas atuais na área de melhoramento de grãos, tentam melhorar a biodisponibilidade de Zn em grãos com alta concentração de ácido fítico (WANG *et al.*, 2021). Outros fatores antinutricionais, como os oxalatos, taninos e polifenóis também podem afetar a biodisponibilidade do Zn quando presentes nas dietas (CRUZ *et al.*, 2011).

Metais essenciais de transcrição como o Zn, são regulados por uma interação de ajuste entre a absorção e secreção endógena no lúmen intestinal, de forma a manter a homeostase do Zn no corpo a um nível que permita o bom funcionamento dos processos de metabolismo (BRUGGER; WINDISCH, 2019). Assim, além da fonte e dos componentes da dieta, a biodisponibilidade de Zn depende também da fase de vida do indivíduo ou animal (categoria). O aumento das necessidades de Zn em algumas fases (HAMBIDGE *et al.*, 2008), pode causar uma reação fisiológica natural para aumentar a absorção luminal e manter a homeostase do Zn corporal. Entretanto, esse processo depende também do desenvolvimento e capacidade das células intestinais absorptivas (enterócitos). Leitões recém-desmamados, por exemplo, apesar de terem as necessidades de Zn aumentadas nesta fase, não estão totalmente desenvolvidos para absorver Zn em comparação aos suínos mais velhos, o que

pode explicar a menor digestibilidade de Zn encontrada em leitões na fase de creche em comparação aos suínos em crescimento (NIELSEN *et al.*, 2022).

Avaliações como a análise da concentração de Zn no sangue, nos tecidos corporais e a análise da digestibilidade aparente do Zn em uma dieta, podem ser utilizadas como medidas para estimar a biodisponibilidade deste micromineral (NIELSEN *et al.*, 2022). Em condições de suprimento dietético insuficiente de Zn, o sistema rapidamente inicia uma mobilização interna de seus principais armazenadores (BRUGGER; WINDISCH, 2019). O fígado, ossos, rins, músculos, pâncreas, pele, pelo e próstata são locais em que o Zn é armazenado (CARCIOFI, 2008). Em uma restrição mais prolongada, os mecanismos de absorção e excreção começam a se adaptar a uma reciclagem de Zn luminal, com aumento da capacidade de absorção relativa na barreira intestinal e, simultaneamente, com diminuição a uma quantidade mínima de perdas endógenas por vias intestinais pancreáticas e biliares (BRUGGER; WINDISCH, 2019).

Por consequência, o tempo de atraso da absorção e excreção reflete diretamente na meia-vida da mucosa intestinal e células acinares pancreáticas (BRUGGER; WINDISCH, 2019). Estudos destacam que o consumo insuficiente de Zn a longo prazo em suínos causa falhas sistêmicas no metabolismo de nutrientes, o que pode levar a uma depressão no crescimento, diarreia, anorexia, necrose tecidual e outros sintomas inespecíficos nas funções cerebrais, atividades imunológicas e reprodutivas (BRUGGER; WINDISCH, 2019; NELSON; COX, 2017; ZHANG *et al.*, 2021). Assim, os principais sinais de deficiência de Zn em suínos se caracterizam por crescimento retardado, diminuição do apetite, piora na conversão alimentar e paraqueratose (MCDOWELL, 2003).

Dietas em níveis adequados ou excessivos podem levar à redução da eficiência absorptiva de Zn no lúmen intestinal e, ao mesmo tempo, à eliminação de níveis excessivos por secreção no trato gastrointestinal (TGI). Sabe-se que o fornecimento a longo prazo de altas concentrações de Zn dietético pode afetar a saúde e causar toxicidade (COSMO; GALERIANI, 2020). Ainda assim, a concentração máxima de Zn tolerável no organismo dos animais ainda é discutível. Trabalhos realizados em leitões desmamados classificam como altas concentrações de Zn dosagens que variam entre 2.000 a 4.000 mg de Zn por

quilograma de dieta. Pieper *et al.* (2015) relatam que o fornecimento a longo prazo de dosagens altas (2.425 mg de Zn dietético por quilograma de dieta) aumentou a concentração do Zn, da metalotioneína (proteína reguladora) e aumentou a atividade de enzimas digestivas no organismo, mas também desencadeou reações de estresse oxidativo no pâncreas de leitões desmamados.

2.5. Zinco nas Dietas de Fêmeas Suínas Gestantes

O termo exigência nutricional pode ser definido com a quantidade diária de nutrientes que um determinado indivíduo ou animal deve consumir, para conseguir manter suas atividades básicas regulatórias do corpo (nível de manutenção), somado às quantidades do mesmo nutriente necessárias para a produção, reprodução ou outra atividade de interesse. Em vista disso, essas exigências são aumentadas ou reduzidas de acordo com a fase de vida (categoria) e com os desafios sanitários e alimentares presentes nos sistemas produtivos. Dentre as diferentes fases que pode ocorrer carência nutricional pelo aumento da exigência, podemos citar a gestação. A nutrição com micronutrientes, nesta fase, está relacionada com a capacidade materna de conceber e sustentar o feto até o nascimento (GERNAND *et al.*, 2016).

Entretanto, quando o assunto é exigência de Zn para matrizes suínas, a literatura se apresenta escassa. As recomendações de Zn para porcas reprodutoras podem ser encontradas em algumas tabelas nutricionais, presentes em manuais (Tabela 2). No entanto, as recomendações deste micromineral são oriundas de poucos trabalhos, conduzidos há muitos anos e, em alguns casos, estas não diferem os diferentes períodos que envolvem a maternidade, as fases de gestação e lactação. Além disso, essas recomendações foram estimadas para evitar deficiência, isto é, níveis mínimos necessários para não afetar a saúde dos animais, mas não níveis ótimos para ganho de desempenho.

Na prática, apesar da exigência nutricional de matrizes suínas gestantes ser dependente de fatores como a fase gestacional, condição corporal, ordem de parto e histórico de prolificidade, as fêmeas são alimentadas com a mesma dieta padrão durante todo o período gestacional e apenas o nível de alimentação é ajustado. Nesse contexto, é comum se trabalhar com limitações ou excessos de alguns nutrientes em determinados estágios da gestação (FERREIRA *et al.*,

2021; GAILLARD *et al.*, 2019, 2020), fato este que se agrava com uma literatura escassa.

Tabela 2. Recomendações de Zn para matrizes suínas.

Tabelas	Recomendação (mg/kg de ração)	
	Inorgânico	Orgânico
Rostagno¹ (2017)	119,7	53,9
NRC² (2012)	100	-
FEDNA³ (2013)	100	-
DNS⁴ (2020)	130	-
NSNG⁵ (2010)	165	-

¹ Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO, 2017).

² *National Research Council* (NRC, 2012).

³ *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal* (DE BLAS *et al.*, 2013).

⁴ *Danish Nutrient Standards* (TYBIRK, 2020).

⁵ *National Swine Nutrition Guide* (MEISINGER, 2010).

Uma pesquisa recente com dados de 4,38 milhões de porcas e representação de 72% da indústria dos Estados Unidos mostrou que, em geral, dietas comerciais são formuladas com níveis de micronutrientes (vitaminas e microminerais) bem acima das recomendações e que as empresas apresentam grande variabilidade nos níveis fornecidos (FACCIN *et al.*, 2023). Alguns dos motivos identificados para isso ocorrer, são: a obtenção de uma margem de segurança para evitar possíveis perdas pela biodisponibilidade; a baixa representação nos custos das dietas finais, em que uma ampla margem de segurança não é de grande importância econômica; e a falta de atualizações nas tabelas nutricionais porque relativamente poucas pesquisas são conduzidas na área de micronutrientes (FACCIN *et al.*, 2023). Esses dados estão de acordo

com pesquisas realizadas por Flohr *et al.* (2016) nos Estados Unidos (há sete anos atrás) e com pesquisas realizadas por Dalto & Silva (2021) sobre a indústria brasileira e Yang *et al.* (2021) sobre a indústria chinesa.

Dalto & Silva (2020) reiteram que os níveis médios de oligoelementos e vitaminas utilizados pela suinocultura brasileira ficaram entre 40 e 240% acima das recomendações presentes nas tabelas brasileiras de referência. Essa margem de segurança significativa e, principalmente, as grandes variações entre as empresas, demonstra o conhecimento limitado disponível sobre níveis precisos de suplementação de micronutrientes. Sendo assim, mesmo que pesquisas recentes apontem que a suplementação de microminerais nas dietas de gestação apresenta uma variação entre 1,3 a 3,7 vezes acima das recomendações (FACCIN *et al.*, 2023; NRC, 2012), alguns grupos de pesquisa levantam a hipótese de que os níveis fornecidos podem estar subestimados para as atuais genéticas (HOLEN *et al.*, 2020). Principalmente porque nas últimas décadas, a seleção genética permitiu aumentar o número de nascidos por fêmea. Esse avanço, contudo, não foi proporcional aos avanços nutricionais (FERREIRA *et al.*, 2021).

O aumento nos nascidos por parto ocasionou aumento na competição pelo espaço intrauterino e, com isso, a redução do peso das leitegadas ao nascimento. Desse modo, não permitiu aumento no número de desmamados por ninhada de forma proporcional aos nascidos, tendo em vista que as taxas de mortalidade pré-desmame tendem a variar de 8 a 20% em leitegadas normais, enquanto as taxas de mortalidade em leitões com baixo peso ao nascer são extremamente altas, em torno de 50 a 80%.

Por atuar nos processos maternos (tópico 2.3.), a suplementação de Zn pode ser uma estratégia para melhorar o desenvolvimento placentário, reduzir casos de crescimento intrauterino retardado, reduzir a competição entre os fetos e melhorar o peso ao nascimento. Além do mais, o Zn apresenta ação antioxidante e, com isso, pode auxiliar na proteção da placenta e do embrião em situação de estresse e melhorar a circulação materno-fetal, o que pode ter efeito positivo no peso e na vitalidade de recém-nascidos (GERNAND *et al.*, 2016). Diante disso, estudos que se aproximem cada vez mais de uma exigência de Zn otimizada e aplicada às condições sanitárias, fisiológicas e metabólicas que uma fêmea suína reprodutora enfrenta, são essenciais. Não somente do ponto de

vista ambiental e econômico, como também de saúde animal, visto a importância do Zn nos processos maternos e a carência de informação sobre sua suplementação.

Holen et al. (2020) avaliaram níveis suplementares de Zn para matrizes suínas na fase final de gestação e encontraram efeito desse micromineral no desempenho produtivo da leitegada, com melhora no peso ao nascimento e redução na mortalidade pré-desmame. Este, porém, foi um estudo pioneiro e muitas relações sobre a suplementação de Zn ainda precisam ser estudadas, avaliadas e discutidas, principalmente em termos de doses, períodos e fontes suplementares.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Esse estudo foi desenvolvido com a finalidade de avaliar os efeitos do micromineral Zn nas respostas de desempenho de fêmeas suínas e suas progênies.

3.2. Objetivo Específico

Avaliar a suplementação com níveis elevados de Zn nas dietas de fêmeas suínas em diferentes períodos gestacionais: 1) desde o início da gestação; 2) fase final de gestação. E comparar com nível mais baixo comumente utilizado durante toda a fase gestacional nos sistemas comerciais.

Avaliar, portanto, o efeito de diferentes doses e períodos da suplementação de Zn durante a fase gestacional em características do parto, condições sanguíneas e desempenho reprodutivo de fêmeas suínas. Avaliar também a vitalidade, condições sanguíneas e desempenho de suas progênies no nascimento e nos demais ciclos produtivos (desmame, creche, crescimento e terminação).

CAPÍTULO II¹

¹Artigo escrito nas normas da revista *Veterinary Sciences*

CAPÍTULO III

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição suplementar de altos níveis de ZnO, como fonte de Zn, nas dietas de porcas durante a gestação, melhorou as variáveis de vitalidade e reduziu a mortalidade pré-desmame quando utilizada nos últimos 30 dias de gestação ou durante todo o período gestacional. Entretanto, a suplementação de Zn durante todo o período gestacional demonstrou otimizar as respostas gestacionais, com tendência a aumentar o peso placentário e os sólidos totais do colostro. Isto é, demonstrou otimizar as trocas maternas de nutrientes e, conseqüentemente as características desejáveis de crescimento na progênie. Portanto, a adição de altos níveis suplementares de Zn nas dietas de fêmeas suínas demonstrou ser uma estratégia positiva que pode ser considerada durante toda a fase gestacional em cenários comerciais de produção.

REFERÊNCIAS

- ABO, S. *et al.* Modelling female physiology from head to Toe: impact of sex hormones, menstrual cycle, and pregnancy. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 540, [art.] 111074, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2022.111074>. Acesso em: 3 maio 2023.
- ALLOWAY, B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental Geochemistry and Health**, Hampshire, v. 31, n. 5, p. 537–548, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>. Acesso em: 3 maio 2023.
- BARREA, L. *et al.* Nutrition and immune system: from the Mediterranean diet to dietary supplementary through the microbiota. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 61, n. 18, p. 1–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1792826>. Acesso em: 3 maio 2023.
- BONDARCZUK, N. H. *et al.* A high-fat diet changes placental morphology but does not change biochemical parameters, placental oxidative stress or cytokine levels. **Placenta**, Amsterdam, v. 135, p. 25–32, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2023.02.004>. Acesso em: 3 maio 2023.
- BRUGGER, D.; WINDISCH, W. M. Zn metabolism of monogastric species and consequences for the definition of feeding requirements and the estimation of feed Zn bioavailability. **Journal of Zhejiang University**, Hangzhou, v. 20, n. 8, p. 617-627, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1631/jzus.B1900024>. Acesso em: 3 maio 2023.
- CARCIOFI, A. C. **Microelementos e vitaminas hidrossolúveis**. [Jaboticabal: Unesp, 2008]. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/clinicacv/AULUSCAVALIERICARCIOFI/microelementos-e-vitaminas.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.
- CARDENAS, H.; CORVALAN, L.; IMARAI, M. Is there a mucosal immune system associated with the mammalian oviduct? **Biological Research**, London, v. 31, n. 4, p. 329-338, 1998.
- COLEMAN, J. E. Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors and replication proteins. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v. 16, p. 897–946, 1992.
- COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de minerais. **Revista de Nutrição da Puccamp**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 87- 98, 1997.
- CRUZ, F. *et al.* Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

DALTO, D. B. *et al.* Impact of dietary zinc: copper ratio on the postprandial net portal appearance of these minerals in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, p. 3938-3946, 2019.

DALTO, D. B.; SILVA, C. A. A survey of current levels of trace minerals and vitamins used in commercial diets by the Brazilian pork industry - A comparative study. **Translational Animal Science**, Oxford, v. 4, n. 4, [art.] txaa195, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txaa195>. Acesso em: 3 maio 2023.

DAVIN, R. *et al.* Zn status of sows and piglets as affected by diet and sow parity. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 178, p. 337–344, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.003>. Acesso em: 3 maio 2023.

DE BLAS, C. *et al.* **Necesidades nutricionales para ganado porcino normas FEDNA**. 2. ed. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2013.

DĘBSKI, B. Supplementation of pigs diet with zinc and copper as alternative to conventional antimicrobials. **Polish Journal of Veterinary Sciences**, Olsztyn, v. 19, n. 4, p. 917–924, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/pjvs-2016-0113>. Acesso em: 3 maio 2023.

ERLEBACHER, A. Immunology of the maternal-fetal interface. **Annual Review of Immunology**, Palo Alto, v. 31, p. 387-411, 2013. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-immunol-032712-100003>. Acesso em: 3 maio 2023.

EUROPEAN UNION. Commission implementing regulation (EU) 2016/1095 of 6 July 2016. Concerning the authorisation of Zinc acetate dihydrate, Zinc chloride anhydrous, Zinc oxide, Zinc sulphate heptahydrate, Zinc sulphate monohydrate, Zinc chelate of amino acids hydrate, Zinc chelate of protein hydrolysates, Zinc chelate of glycine hydrate (solid) and Zinc chelate of glycine hydrate (liquid) as feed additives for all animal species and amending Regulations (EC) No 1334/2003, (EC) No 479/2006, (EU) No 335/2010 and Implementing Regulations (EU) No 991/2012 and (EU) No 636/2013. **Official Journal of the European Union**, Luxembourg, v. 59, L 182, p. 7, 7 July 2016. Disponível em: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1095>. Acesso em: 3 maio 2023.

FACCIN, J. E. G. *et al.* Industry survey of added vitamins and trace minerals in U.S. swine diets. **Translational Animal Science**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txad035>. Acesso em: 3 maio 2023.

FERREIRA, S. V. *et al.* Plane of nutrition during gestation affects reproductive performance and retention rate of hyperprolific sows under commercial conditions. **Animal**, London, v. 15, n. 3, [art.] 100153, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100153>. Acesso em: 3 maio 2023.

FLOHR, J. R. *et al.* A survey of current feeding regimens for vitamins and trace minerals in the US swine industry. **Journal of Swine Health and Production**, Perry, v. 24, n. 6, p. 290–303, 2016.

GAILLARD, C. *et al.* Exploration of individual variability to better predict the nutrient requirements of gestating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, n. 12, p. 4934- 4945, 2019.

GAILLARD, C. *et al.* Evaluation of a decision support system for precision feeding of gestating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 98, n. 9, p. 1-12, 2020.

GERNAND, A. D. *et al.* Micronutrient deficiencies in pregnancy worldwide: health effects and prevention. **Nature Reviews**, London, v. 12, p. 274- 289, 2016.

GREGER, J. L.; WEAVER, C. M. Effect of dietary protein and minerals on calcium and zinc utilization. **Critical Reviews in Food Science And Nutrition**, Philadelphia, v. 28, n. 3, p. 249- 271, 1989.

HAMBIDGE, K. M. *et al.* Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model predictions. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 138, n. 12, p. 2363- 2366, 2008.

HILL, G. M.; MILLER, E. R.; STOWE, H. D. Effect of dietary zinc levels on health and productivity of gilts and sows through two parities. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 57, n. 1, p. 114-122, 1983.

HOLEN, J. P. *et al.* Effects of supplementing late-gestation sow diets with zinc on preweaning mortality of pigs under commercial rearing conditions. **Translational Animal Science**, Oxford, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2020.

HOSSEINI, M. S. *et al.* Stereological study of the placental structure in abortion-prone mice model (CBA/J×DBA/2J). **Annals of Anatomy**, Jena, v. 230, [art.] 151508, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151508>. Acesso em: 3 maio 2023.

HURLEY, L. S.; MUTCH, P. B. Prenatal and postnatal development after transitory gestational zinc deficiency in rats. **The Journal of Nutrition**. Bethesda, v. 103, n. 5, p. 649- 656, 1973.

JOU, M. *et al.* Biofortification of rice with zinc: assessment of the relative bioavailability of zinc in a Caco-2 cell model and suckling rat pups. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 60, n. 14, p. 3650- 3657, 2012.

KRIDLI, R. T. *et al.* Placentation, maternal-fetal interface, and conceptus loss in swine. **Theriogenology**, New York, v. 85, n. 1, p. 135-144, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.08.001>. Acesso em: 3 maio 2023.

LA FRANO, M. R *et al.* Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. **Nutrition Reviews**, Washington, DC, v. 72, n. 5, p. 289- 307, 2014.

LEESON, S. Trace minerals in poultry nutrition. 2. Copper and zinc – the next pollution frontier. **World Poultry**, Doetinchem, v. 3, p. 14-16, 2008.

Li, R. *et al.* Dietary exposure to mycotoxin zearalenone (ZEA) during post-implantation adversely affects placental development in mice. **Reproductive Toxicology**, Elmsford, v. 85, p. 42–50, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2019.01.010>. Acesso em: 3 maio 2023.

LIU, F. *et al.* Zinc Supplementation forms influenced zinc absorption and accumulation in piglets. **Animals**, Basel, v. 11, n. 36, p. 1-11, 2021.

LONNERDAL, B. *et al.* Zinc absorption from low phytic acid genotypes of maize (*Zea mays* L.), Barley (*Hordeum vulgare* L.), and Rice (*Oryza sativa* L.) assessed in a suckling rat pup model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 59, n. 9, p. 4755- 4762, 2011.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.

MAŁOPOLSKA, M. M. *et al.* Correlates of reproductive tract anatomy and uterine histomorphometrics with fertility in swine. **Theriogenology**, New York, v. 165, p. 44–51, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.02.007>. Acesso em: 3 maio 2023.

MCDOWELL, L. R. Zinc. *In*: MCDOWELL, L. R. (ed.). **Minerals in animal and human nutrition**. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2003. Cap. 12, p. 357–396.

MEISINGER, D. J. **National swine nutrition guide tables on nutrient recommendations, ingredient composition, and use rates**. [Clive]: The National Swine Nutrition Guide, 2010.

MOORE, A. R. *et al.* Gestationally dependent immune organization at the maternal-fetal interface. **Cell Reports**, Cambridge, v. 41, n. 7, [art.] 111651, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2022.111651>. Acesso em: 3 maio 2023.

MILLER, D. *et al.* Single-cell immunobiology of the maternal-fetal interface. **The Journal of Immunology**, Baltimore, v. 209, n. 8, p. 1450-1464, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4049/jimmunol.2200433>. Acesso em: 3 maio 2023.

MUNIZ, M. H. B. *et al.* Fontes orgânicas e inorgânicas de zinco e cobre como melhoradores de desempenho em leitões desmamados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 9, n. 39, p. 1999-2005, 2010.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger principles of biochemistry**. 7th ed. New York: Freeman Macmillan Learning, 2017. 2582 p.

NIELSEN, T. S. *et al.* Bioavailability of different zinc sources in pigs 0–3 weeks post-weaning. **Animals**, Basel, v. 12, n. 21, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12212921>. Acesso em: 3 maio 2023.

NORWITZ, E. R. Defective implantation and placentation: laying the blueprint for pregnancy complications. **Reproductive Biomedicine Online**, Cambridge, v. 13, p. 591–599, 2006.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 11th ed. Washington, DC: National Academies Press, 2012.

PARKIN, J.; COHEN, B. An overview of the immune system. **The Lancet**, New York, v. 357, n. 9270, p. 1777–1789, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)04904-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)04904-7). Acesso em: 3 maio 2023.

PAYNE, R. L. *et al.* Growth and intestinal morphology of pigs from sows fed two zinc sources during gestation and lactation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 8, p. 2141- 2149, 2006.

PIEPER, R. *et al.* Impact of high dietary zinc on zinc accumulation, enzyme activity and proteomic profiles in the pancreas of piglets. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 30, p. 30–36, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.01.008>. Acesso em: 3 maio 2023.

RECKZIEGEL, S. H.; ARAÚJO, A. C. P. **Anatomia para zootecnia II**. Porto Alegre: UFRGS, 2019. 61 p.

RINK, L.; GABRIEL, P. Zinc and the immune system. **Proceedings of the Nutrition Society**, Wallingford, v. 59, n. 4, p. 541–552, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0029665100000781>. Acesso em: 3 maio 2023.

ROOHANI, N. *et al.* Zinc and its importance for human health: an integrative review. **Journal of Research in Medical Sciences**, Isfahan, v. 18, n. 2, p. 144–157, 2013.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE USO DA LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 1., 2009, Campinas, SP. **Anais** [...]. Campinas: CBNA, 2009. p. 21.

SAKAMURA, Nilva Kazue *et al.* **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014. 678 p.

SAMPATH, V. *et al.* Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: a short review. **Journal of Animal Science and Technology**, Seoul, v. 65, n. 3, p. 479–489, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5187/jast.2023.e9>. Acesso em: 3 maio 2023.

SANUSI, K. O. *et al.* Effect of maternal zinc deficiency on offspring health: The epigenetic impact. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 65, p. 1-9, 2021.

SIMMER, K.; THOMPSON, R. P. Maternal zinc and intrauterine growth retardation. **Clinical Science**, London, v. 68, n. 4, p. 395-399, 1985.

SREENIVASULU, K. *et al.* Effect of dietary ligands and food matrices on zinc uptake in caco-2 cells: implications in assessing zinc bioavailability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 56, n. 22, p. 10967-10972, 2008.

SUN, J. Y. *et al.* Placental immune tolerance and organ transplantation: underlying interconnections and clinical implications. **Frontiers in Immunology**, Lausanne, v. 12, [art.] 705950, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.705950>. Acesso em: 3 maio 2023.

SWENSON, Melvin J.; REECE, William O. **Dukes fisiologia dos animais domésticos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856 p.

TAN, C. *et al.* A review of the amino acid metabolism in placental function response to fetal loss and low birth weight in pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 13, n. 1, [art.] 28, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00676-5>. Acesso em: 3 maio 2023.

TIAN, L. *et al.* The effect of maternal obesity on fatty acid transporter expression and lipid metabolism in the full-term placenta of lean breed swine. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 102, n. 1, p. 242–253, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpn.12735>. Acesso em: 3 maio 2023.

TRAN, C. D. *et al.* The potential for zinc stable isotope techniques and modelling to determine optimal zinc supplementation. **Nutrients**, Basel, v. 7, n. 6, p. 4271- 4295, 2015.

TYBIRK, P. *et al.* **Danish nutrient standards**. 32nd ed. [S. l.]: SEGES, 2020. Disponível em: https://pigresearchcentre.dk/-/media/PDF/English-site/Research_PDF/Nutrition-standards/Foder_Naeringsstoffer_Normer_for_naeringsstoffer2_uk.ashx. Acesso em: 28 maio 2021.

VEENSTRA VAN NIEUWENHOVEN, A. L.; HEINEMAN, M. J.; FAAS, M. M. immunology of successful pregnancy. **Human Reproduction Update**, Oxford,

v. 9, n. 4, p. 347–357, 2003. Disponível em:
<https://doi.org/10.1093/humupd/dmg026>. Acesso em: 3 maio 2023.

VILLAGÓMEZ-ESTRADA, Sandra *et al.* Effects of two zinc supplementation levels and two zinc and copper sources with different solubility characteristics on the growth performance, carcass characteristics and digestibility of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 105, n. 1, p. 59-71, 2020.

VALLEE, B. L.; FALCHUK, K. H. The biochemical basis of zinc physiology. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 73, p. 79–118, 1993.

WANG, Y. *et al.* Combination of high Zn density and low phytic acid for improving Zn bioavailability in rice (*Oryza sativa* L.) grain. **Rice**, New York, v. 14, [art.] 23, 2021.

WATANABE, T. T. N. **Oligoelementos no metabolismo**. [Porto Alegre: UFRGS], 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2020/11/oligoelementosmetabol.pdf>. Acesso em: 3 maio 2023. Seminário apresentado pela autora na disciplina Bioquímica do Tecido Animal, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WEISS, G. *et al.* Linkage of cell-mediated immunity to iron metabolism. **Immunology Today**, Amsterdam, v. 16, p. 495–500, 1995.

WESSELS, I. *et al.* Zinc as a gatekeeper of immune function. **Nutrients**, Basel, v. 9, n. 12, [art.] 1286, [p. 1-44], 2017.

YANG, P. *et al.* The strategies for the supplementation of vitamins and trace minerals in pig production: Surveying major producers in China. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 34, n. 8, p. 1350–1364, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0521>. Acesso em: 3 maio 2023.

ZHANG, S. *et al.* Regulation and function of chemokines at the maternal-fetal interface. **Frontiers in Cell and Developmental Biology**, Lausanne, v. 10, [art.] 826053, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.826053>. Acesso em: 3 maio 2023.

ZHANG, W. *et al.* Effect of replacing inorganic trace minerals at lower organic levels on growth performance, blood parameters, antioxidant status, immune indexes, and fecal mineral excretion in weaned piglets. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 53 n. 121, p. 1-8, 2021.

ZHOU, Y. *et al.* Reproductive immune microenvironment. **Journal of Reproductive Immunology**, Limerick, v. 152, [art.] 103654, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jri.2022.103654>. Acesso em: 3 maio 2023.