UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CLAUDIA CASSIMIRA DA SILVA

Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes suínas e na sua progênie

Pirassununga
2014

CLAUDIA CASSIMIRA DA SILVA

Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes suínas e na sua progênie

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Francelino Araújo

Pirassununga
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

S586e Silva, Claudia Cassimira da
Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes
suínas e na sua progênie / Claudia Cassimira da Silva.
-- Pirassununga, 2014.
155 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Zootecnia.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Lúcio Francelino Araújo.

1. Densitometria óssea 2. Desempenho 3. Integridade
Intestinal 4. Mineral orgânico. I. Título.

Claudia Cassimira da Silva

Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes suínas e na sua progênie

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Doutor.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Manoel e Ana.

Aos Meus irmãos Osvaldo, Claudio e Catia.

E ao meu companheiro de todas as horas, meu amor e amigo, Luiz Gustavo.

Vocês tornaram possível mais essa realização!

À vocês dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus:

“Porque o Senhor é meu Pastor e nada me faltará”

Salmo 32

Aos meus pais (Manoel e Ana), ao mostrar ao mundo que:

“É na educação dos filhos que se revelam as virtudes dos pais.”

Henrique Maximiano Coelho Neto

E porque sei que mesmo sem pronunciar tais palavras era isso que diziam em gestos:

“Os dois maiores presentes que podemos dar aos filhos são raízes e asas.”

Hodding Carter

Aos meus três irmãos (Osvaldo, Claudio e Catia) porque:

“Ter um irmão é ter, para sempre, uma infância lembrada com segurança em outro coração.”

Tati Bernardi

Ao meu amor de todas as horas, Luiz Gustavo, que me ensinou na prática que:

“O amor é paciente, é bondoso; o amor não é invejoso, não é arrogante, não se ensoberbece, não é ambicioso, não busca os seus próprios interesses, não se irrita, não guarda ressentimento pelo mal sofrido, não se alegra com a injustiça, mas regozija-se com a verdade; tudo desculpa, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.”

Carta de S. Paulo aos Coríntios

Acmahan, Márcia, Reca, Natália, Larissa, Adriana, Andréia, Jô, Julia, porque essa jornada foi dura e aprendi que

“A amizade desenvolve a felicidade e reduz o sofrimento, duplicando a nossa alegria e dividindo a nossa dor.”

Joseph Addison

E como as indas e vindas foram muitas nessa vida, e é impossível citar todos os grandes amigos que fiz, essa frase exprime tudo:

“Cada novo amigo que ganhamos no decorrer da vida aperfeiçoa-nos e enriquece-nos, não tanto pelo que nos dá, mas pelo que nos revela de nós mesmos.”

Miguel Unamuno

A equipe maravilhosa, com quem trabalhei e compartilhei momentos de dificuldades, mas sempre com muita alegria: Fabinho, Marcão, Diego, Bruno, Gisele, Mariana, Melissa, Simone, Julião, Bizel, Maurício, Zé, D'hora, Claudio, Ionio, Zé (fábrica) e Cris, obrigado sempre será muito pouco pelo que fizeram por mim!

Aos professores Ricardo Albuquerque, Cristiane, Lúcio e Anibal!

Aos muitos colegas de caminhada da pós graduação da FZEA e VNP/FMVZ que muito me ensinaram na vida acadêmica e sobretudo na pessoal!

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo!

E as minhas 30 marrãs e aos meus mais de 1000 leitões, aos cachacos: Zé, Luizinho (em memória), Hugo, Mariano, Homero e Heitor. Apesar de não entender as palavras, espero que tenham sentido que amei cada instante com vocês! De alguns levo lembranças bem definidas, mas por todos sempre sentirei gratidão!

RESUMO

SILVA, C.C. **Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes suínas e na sua progênie** [Effect of different sources of zinc in sows and their progeny]. 2014. 155f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.

Diante da importância do zinco no desempenho produtivo e reprodutivo de matrizes suínas, e no desempenho de leitões, foram conduzidos três experimentos com o objetivo de avaliar diferentes fontes de zinco na alimentação de suínos. O experimento I avaliou diferentes fontes de zinco, orgânico (zinco+metionina ((Zn-Met) e zinco+glicina(Zn-Gli)) e inorgânico (óxido de zinco(ZnO)) na dieta de matrizes em gestação e lactação e os efeitos do uso destas fontes na sua progênie. Foram utilizadas 18 fêmeas de uma linhagem comercial distribuídas em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três tratamentos e seis repetições de um animal. As características avaliadas nas matrizes foram: peso, espessura de toucinho, prolificidade, número de leitões nascidos vivos e níveis séricos de zinco no colostro e no leite. Para os leitões após parto até a desmama foram analisados: níveis de zinco no soro, ganho de peso, histomorfologia entérica e densidade óssea. No experimento II foram utilizados 180 leitões, desmamados com 21 dias de idade, distribuídos em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 3 (3 dietas maternas – 100 ppm de ZnO, Zn-Met, Zn-Gli x 3 dietas da progênie - 100 ppm de ZnO, Zn-Met, Zn-Gli) totalizando 9 tratamentos e 5 repetições de 4 animais cada, em que foram avaliados o desempenho, incidência de diarreia, níveis de zinco no soro, densidade óssea e histomorfologia entérica. No experimento III foram utilizados 810 leitões, desmamados com 21 dias de idade, distribuídos em delineamento de blocos ao acaso com 6 tratamentos de 3 repetições de 45 animais: Fases I e II – 1. dieta + 2300 ppm de ZnO; 2. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 2400 ppm de ZnO; 5. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO+200 ppm de Zn-Gli; Fase III - 1. dieta + 1600 ppm de ZnO; 2. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 1700 ppm de ZnO; 5. dieta + 1500 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO+200 ppm de Zn-Gli, em que avaliou-se o desempenho dos animais. Os dados foram analisados utilizando o programa SAS (1998). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, segundo Steel e Torrie (1980).

Palavras-chave: densitometria óssea, desempenho, imunidade, integridade intestinal, mineral orgânico.

ABSTRACT

SILVA, C.C. **Effect of different sources of zinc in sows and their progeny** [Efeito das fontes de zinco na dieta de matrizes suínas e na sua progênie]. 2014. 155f. Thesis. (PhD) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.

Given the importance of zinc in the productive and reproductive performance of sows and piglets performance, three experiments to evaluate different sources of zinc in swine were conducted. The first experiment evaluated different sources of zinc, organic (zinc methionine (Zn-Met) and zinc glycine (Zn-Gly)) and inorganic (zinc oxide (ZnO)) in the diet of pregnant gilts and sows lactating and the effects of using these sources in their progeny. Were used 18 female of a commercial strain distributed in experimental design of randomized blocks with three treatments and six repetitions with one animal each. The characteristics evaluated in the sows were: weight, backfat thickness, prolificacy, number of piglets born alive and zinc levels in serum, colostrum and milk; In the piglets after birth until weaning were analyzed: serum levels of zinc, weight gain, bone density and histomorphology enteric. The second experiment 180 piglets were used, weaned at 21 days of age in a randomized block design in a factorial 3 x 3 (3 maternal diets - 100 ppm from ZnO , Zn-Met , Zn-Gly x 3 diets progeny - 100 ppm ZnO , Zn-Met - , Zn-Gly) totaling 9 treatments and 4 replicates of 5 animals each, which evaluated the performance, diarrhea incidence, serum zinc levels, bone density and histomorphology enteric. The third experiment 810 weaned pigs weaned at 21 days of age in a randomized block design with 6 treatments of 3 replicates of 45 animals each: Phases I and II – 1. diet + 2300 ppm of ZnO; 2. diet + 2200 ppm of ZnO + 100 ppm of Zn-Met; 3. diet + 2200 ppm ZnO + 100 ppm of Zn-Gly; 4. diet + 2400 ppm of ZnO; 5. diet + 2200 ppm of ZnO + 200 ppm of Zn- Met; 6. diet + 2200 ppm of ZnO + 200 ppm of Zn-Gly; Phase III – 1. diet + 1600 ppm of ZnO; 2. diet + 1500 ppm of ZnO + 100 ppm of Zn-Met; 3. diet + 1500 ppm of ZnO + 100 ppm of Zn-Gly; 4. diet + 1700 ppm of ZnO; 5. diet + 1500 ppm of ZnO + 200 ppm of Zn- Met; 6. diet + 2200 ppm of ZnO + 200 ppm of Zn-Gly in evaluating the performance of animals. All datas were analyzed using SAS (1998) program. The treatment means were compared by Tukey test at 5 % probability , according to Steel and Torrie (1980). **Key words:** bone densitometry, gut integrity, immunity, organic minerals, performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Eletronmicrografias de varredura do duodeno de leitões ao desmame (controle) e aos 14 dias pós desmame respectivamente, em função das diferentes fontes protéicas (SCANDOLERA, 2005).	11
Figura 2 – Fêmeas na Unidade de Gestação do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS) ...	46
Figura 3. Tranferência das fêmeas da Unidade de Gestação para as células parideiras das salas de Maternidade do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)	47
Figura 4. Fêmeas na Unidade de Maternidade do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)	47
Figura 5. Chegada das marrãs a Granja Experimental LPS	48
Figura 6. Aplicação de eCG nas marrãs.....	49
Figura 7. Porcentagem de marrãs em cio após tratamento hormonal	50
Figura 8. Acompanhamento da ciclicidade do estro apresentado pelas marrãs	51
Figura 9. Exame ultrassonográfico para estimar a espessura de toucinho	51
Figura 10. Inseminação das marrãs.....	52
Figura 11. Colheita de sangue das matrizes	56
Figura 12. Injeção intravenosa de ocitocina para coleta de leite aos 21 dias de lactação	57
Figura 13. Parto assistido e leitões identificados por brincos	57
Figura 14. Leitões do Experimento II alocados na creche do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS).....	59
Figura 15. Vista das áreas, primeiro de uma vilosidade e segunda de uma cripta, em amarelo e como foi medido o comprimento através de retas tangentes aos limites. O pontilhado vermelho indica a distância entre as retas e é a medida analisada.....	64
Figura 16. Densitômetro.....	65
Figura 17. Imagem gerada do metacarpo no densitômetro	65
Figura 18. Aquisição de imagem e obtenção de dados após análise densitométrica.....	66
Figura 19. Localização da Granja	67
Figura 20. Setor de Creche da Granja	68
Figura 21. Salas de Creche	68
Figura 22. Vista da sala experimental e distribuição de cochos e bebedouros	69
Figura 23. Paisagem dos Leitões	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Efeito do ganho de peso (GP) na 1ª semana pós desmame sobre o desenvolvimento subsequente dos leitões até o abate.....	12
Tabela 2. Análise média de grãos e subprodutos (NRC, 1998).....	13
Tabela 3. Conteúdo mineral total de suínos em crescimento, do nascimento até 145 kg de peso corporal e terceira ordem de parição de matrizes	14
Tabela 4. Requerimento dietético para elementos minerais (mg/kg dieta)* para suínos.....	15
Tabela 5. Faixa de adição de mineral dietético em diversos países europeus (mg/kg alimento)	16
Tabela 6. Valor máximo, mínimo e a variação em percentagem do zinco utilizado pelos nutricionistas das integrações e independentes em rações pré-iniciais e iniciais.	16
Tabela 7. Níveis nutricionais de rações pré-iniciais I, pré-inicial II e inicial de nove empresas comerciais, segundo suas formulações para região sudeste do Brasil.	17
Tabela 8. Metaloenzimas zinco metal nas seis classes de enzimas	24
Tabela 9. Comparação de concentrações típicas minerais no leite de várias espécies	39
Tabela 10. Composição da dieta de reposição das marrãs	53
Tabela 11. Composição da dieta de gestação	54
Tabela 12. Composição da dieta de Lactação	55
Tabela 13. Composição de Rações dos Leitões do Experimento II	60
Tabela 14. Composição de Rações dos Leitões do Experimento II	71
Tabela 15. Valores médios e desvios padrão do peso (kg), espessura de toucinho (ET - mm) e consumo de ração total (CR - kg) ao longo da gestação	76
Tabela 16. Valores médios e desvios padrão do peso, ganho de peso (GPD) e consumo de ração diário (CRD) das fêmeas na lactação.....	78
Tabela 17. Valores médios e desvios padrão do número de leitões nascidos totais (Nasc. Totais), nascidos vivos (Nasc. Vivos), por leitegada equalizada (Nº/Leitegada equalizada), natimorto, mumificados, peso médio ao nascimento, peso médio individual da leitegada após equalização, peso médio ao desmame e ganho de peso médio diário dos leitões (GPD) durante a lactação.	81
Tabela 18. Níveis médios e desvio padrão de zinco no colostro e leite de matrizes suínas lactantes e no soro de matrizes durante a gestação e lactação.....	83

Tabela 19. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 21 a 35 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	86
Tabela 20. Desdobramento do fator mãe para peso dos leitões aos 21 dias de idade.....	86
Tabela 21. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 35 a 49 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	87
Tabela 22. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 49 a 70 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	88
Tabela 23. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 21 a 70 dias de idade (acumulado), para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	89
Tabela 24. Valores médios e desvios padrão para níveis de zinco (mg/ml) no soro de leitões aos 21 e aos 70 dias de vida dos leitões	92
Tabela 25. Valores médios e desvios padrão para conteúdo mineral e densidade óssea aos 21 dias de idade dos leitões	93
Tabela 26. Valores médios e desvios padrão para conteúdo mineral e densidade óssea aos 70 dias de idade dos leitões	94
Tabela 27. Valores médios e erro médio padrão para incidência de diarreia em leitões em fase de creche.....	95
Tabela 28. Valores médios para Altura de vilosidade (ALT), profundidade de criptas (PROF) e relação Altura:Vilosidade (ALT:PROF) de leitões alimentados com diferentes fontes de zinco ao desmame	96
Tabela 29. Tabela 28. Valores médios para Altura de vilosidade (ALT), profundidade de criptas (PROF) e relação Altura:Vilosidade (ALT:PROF) de leitões alimentados com diferentes fontes de zinco no período de creche	96
Tabela 30. Valores médios e erro médio padrão para incidência de diarreia em leitões em fase de creche.....	100
Tabela 31. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 21 a 35 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	101

Tabela 32. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 36 a 42 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	101
Tabela 33. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 43 a 59 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	102
Tabela 34. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 21 a 59 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA).....	102

LISTA DE ABREVIATURAS

AAFCO	Association of American Feed Control Official
AFRC	Agricultural and Food Research Council
ARC	Agricultural Research Council
CA	conversão alimentar
Ca	cálcio
cm	centímetro
CRMD	consumo de ração médio diário
CMO	conteúdo mineral ósseo
Cu	cobre
CuSO ₄	sulfato de cobre
DNA	ácido desoxirribonucleico
DMO	densidade mineral óssea
eCG	gonadotrofina coriônica equina
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EM	energia metabolizável
ET	espessura de toucinho
Fe	ferro
g	grama
GPD	ganho de peso médio diário
GP	ganho de peso
h	hora
IGF-1	proteína de fator de crescimento semelhante a insulina tipo 1
Kcal	quilocaloria
Kg	quilograma
l	litros
LH	hormônio luteinizante
Mg	magnésio
Mg	miligrama
ml	mililitros
Mn	manganês
NRC	National Research Council
P	fósforo
PB	proteína bruta
pH	potencial hidrogeniônico
PGF2 α	prostaglandina F2alfa
ppm	partes por milhão
RNA	ácido ribonucleico
Se	selênio
t	tonelada
Zn	zinco
Zn-Lis	zinco lisina
Zn-Met	zinco metionina
Zn-Gli	zinco glicina
ZnO	zinco óxido
ZnSO ₄	sulfato de zinco
μ m	micrograma
%	percentagem
°C	graus Célsius

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	IV
AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
SUMÁRIO.....	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. HIPÓTESE.....	5
3. OBJETIVOS	5
3.1. Objetivo geral	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1. Algumas considerações sobre os suínos	7
4.2. Características morfológicas do intestino dos suínos	9
4.3. Exigência Mineral.....	13
4.4. Fontes e biodisponibilidade dos minerais	19
4.5. Zinco e fontes disponíveis.....	23
4.6. Zinco e Imunidade	31
4.7. Zinco nas diferentes fases de produção de suínos	32
4.7.1. Zinco e Leite	33
4.7.2. Zinco e Matrizes Suínas	37
4.8. Métodos de estimativa de zinco no organismo animal	41
4.9. Fontes de Zinco e Fitase.....	43

5. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
5.1. Experimento I - Avaliação das matrizes	46
5.1.1. Local e Instalações	46
5.1.2. Animais e Preparação.....	47
5.1.3. Alimentação.....	52
5.1.4. Peso e Espessura de Toucinho	55
5.1.5. Colheita de Sangue e Avaliação de Parâmetros Sanguíneos.....	56
5.1.6. Colostro e Leite.....	56
5.1.7. Procedimento Analítico.....	57
5.1.8. Obtenção dos Leitões	57
5.1.9. Análises Estatísticas	58
5.2. Experimento II - Dieta materna associada a melhor fonte de zinco fornecida aos leitões	58
5.2.1. Animais	58
5.2.2. Instalação.....	59
5.2.3. Alimentação.....	59
5.2.4. Características avaliadas	61
5.2.4.1. Características de desempenho	61
5.2.4.2. Colheita de Sangue para análise de zinco no soro	62
5.2.4.3. Colheita de Sangue para análise de imunidade	62
5.2.4.4. Incidência de Diarréia	63
5.2.4.5. Análises Histológicas	63
5.2.4.6. Densitometria Óssea	64
5.2.5. Análises Estatísticas.....	66
5.3. Experimento III - Suplementação de zinco apenas para os leitões.....	66
5.3.1. Animais	66
5.3.2. Local e Instalação	67

5.3.3.	Alimentação.....	69
5.3.4.	Características avaliadas	72
5.3.5.	Análises Estatísticas	73
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
6.1.	Experimento I	75
6.1.2.	Desempenho na gestação.....	75
6.1.3.	Desempenho na lactação	77
6.1.4.	Desempenho reprodutivo.....	80
6.1.5.	Níveis de zinco durante a gestação e lactação	83
6.2.	Experimento II.....	85
6.2.1.	Desempenho	85
6.2.2.	Níveis de zinco no soro	91
6.2.3.	Conteúdo mineral e densidade óssea	93
6.2.4.	Imunidade.....	94
6.2.5.	Histologia Intestinal	96
6.2.6.	Incidência de Diarreia	97
6.3.	Experimento III.....	101
7.	CONCLUSÃO.....	107
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

1. INTRODUÇÃO

O melhor desempenho produtivo e reprodutivo da suinocultura tem sido possível devido a evolução genética e o aprimoramento das técnicas de criação, de ambiência, da sanidade animal e da nutrição. Diante de todo esse desenvolvimento e do conhecimento gerado é possível aos nutricionistas, formularem dietas cada vez mais específicas, de modo a atender as exigências dos animais em cada uma de suas fases do ciclo de produção. Para auxiliar o nutricionista, diversas pesquisas são feitas com o intuito de atualizar constantemente os requerimentos energéticos e protéicos, bem como desenvolver produtos que melhorem o aproveitamento dos diversos ingredientes e nutrientes da dieta.

Apesar da indústria de produção animal conhecer a importância dos microminerais há mais de 100 anos (HILL; LINK, 2009), utiliza-se de estimativas de requerimentos há muitos anos postuladas, para formular dietas que maximizem a produção. Com o advento dos minerais orgânicos nos últimos anos, conceitos sobre aumento dos custos com a alimentação e contaminação ambiental, bem como questões sobre a absorção e utilização dos microminerais vieram à tona. Neste contexto, em que se conhece o potencial poluidor de importantes fontes de minerais inorgânicas, amplamente empregadas, o custo não pode ser o único critério a ser adotado.

O desmame de leitões em condições comerciais no Brasil é feito, em média, aos 21 dias de idade, período no qual suas funções fisiológicas ainda não estão adequadamente desenvolvidas, apresentando produção insuficiente de ácido clorídrico e enzimas para digestão dos componentes presentes nas rações, este e outros agentes estressores acabam por ocasionar no surgimento de diarreias. Assim, o emprego do zinco inorgânico na forma de óxido tem sido muito difundido na suinocultura como promotor de crescimento, devido ao baixo custo, e eficiência no controle de diarreia pós-desmame (POULSEN, 1995). A exigência nutricional de zinco para leitões é de 80 a 100 ppm (NRC, 1998) e os níveis normalmente utilizados como promotor de crescimento são elevados, variando de 2000 a 3000 ppm (CARLSON et al, 2004a; HOLLIS et al, 2005; BUFF et al, 2005). Mas, nos últimos anos, a preocupação com a poluição ao meio ambiente, decorrente do excesso de minerais depositados no solo advindos dos dejetos animais, tem sido comum entre os pesquisadores.

Dentre as alternativas para reduzir o impacto ambiental, provocada pela produção suinícola, estão a adoção de estratégias nutricionais e a mais promissora delas visa dois aspectos principais: minimizar a suplementação e maximizar a eficiência de utilização dos

nutrientes (MURPHY; LANGE, 2004). Os minerais em excesso nas rações não são totalmente aproveitados pelo organismo do animal, sendo excretados nas fezes e urina e, conseqüentemente, poluem o ambiente. Desta forma, existe uma crescente preocupação com o poder poluente dos dejetos, de modo que pesquisas têm sido direcionadas para a avaliação de fontes orgânicas de minerais (REVY et al. 2002). A utilização dos minerais orgânicos tem sido uma opção na substituição dos inorgânicos, diminuindo a eliminação no meio ambiente, devido a maior biodisponibilidade (HAHN; BAKER, 1993). Ressalta-se que o consumo mineral inadequado pode afetar a secreção hormonal, atividade enzimática, função muscular, conteúdo mineral ósseo, e outras funções do mineral no organismo (PETERS; MAHAN, 2008). Assim, acrescentando minerais orgânicos na dieta pode-se minimizar interações de quelação com minerais e outros fatores dietéticos que prejudicam a utilização dos mesmos no organismo animal.

Apesar de haver informações consideráveis sobre o efeito da nutrição no desenvolvimento intestinal (PLUSKE, 2001), e incidência de doença entérica (HAMPSON et al., 2001) em suínos desmamados, há uma escassez de informações sobre o impacto da nutrição mineral da matriz suína no desenvolvimento intestinal e função imune do leitão neonatal. Para compensar as maiores necessidades de matrizes de alta produção, as dietas são comumente formuladas para atender ou exceder as recomendações minerais do NRC. No entanto, a eficácia destes níveis mais elevados não foi avaliada. Além disso, o uso de minerais orgânicos tem crescido, no entanto a sua utilidade em dietas de matrizes não tem sido amplamente investigada (PETERS, 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar fontes orgânicas e inorgânicas a serem suplementadas na dieta de leitões em fase de creche, e de matrizes em gestação e lactação, e assim observar os impactos sobre os índices produtivos e reprodutivos em matrizes e de desempenho na progênie.

Hipótese e Objetivos

2. HIPÓTESE

A hipótese do presente projeto é de que as fontes orgânicas de zinco, quando comparadas as fontes inorgânicas, propiciem melhor absorção do mineral e consequentemente, resultem em melhor desempenho reprodutivo das matrizes e de desempenho produtivo dos leitões.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo geral*

O objetivo geral do projeto é encontrar a melhor fonte de zinco a ser administrada para os suínos a fim de levar a melhores índices produtivos e reprodutivos em matrizes e de desempenho na progênie.

3.2. *Objetivos específicos*

- Experimento I – avaliação das matrizes - avaliar as diferentes fontes de zinco nas matrizes suínas com a finalidade de encontrar aquela que promova melhores índices reprodutivos e produtivos. Foi avaliada, também a interferência das diferentes fontes de zinco da dieta materna, sobre a capacidade absorptiva intestinal e níveis de zinco no soro e no metatarso dos leitões;
- Experimento II – Dieta materna associada a melhor fonte de zinco fornecida aos leitões – tem por finalidade avaliar os leitões oriundos das matrizes do Experimento I testando-se dentro de cada grupo (ZnO, Zn-Met, Zn-Gli da dieta materna) as diferentes fontes de zinco (ZnO, Zn-Met, Zn-Gli na dieta dos leitões) para cada um, e então concluir qual seria a melhor fonte de zinco associado a dieta materna e dos leitões que resultariam em melhor desempenho da progênie. Além de serem avaliadas as características de desempenho dos leitões, foram avaliados nos mesmos, ainda, a incidência de diarreia, parâmetros sanguíneos (status mineral e imunitário), histologia intestinal e do metatarso por densitometria óssea;
- O Experimento III – Suplementação de zinco apenas para os leitões - teve a finalidade de avaliar leitões provenientes de matrizes que não receberam diferentes fontes de zinco, e assim fornecer a eles estas fontes em níveis variados. Desta forma, observar qual o melhor nível da diferente fonte de zinco promove melhores resultados de desempenho;

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Algumas considerações sobre os suínos

A eficiência da seleção genética balanceada traz maior capacidade reprodutiva das fêmeas, e maior vigor e sobrevivência dos leitões com leitegadas maiores e menor mortalidade. Acredita-se que até 2020 obtenha-se de 15 a 16 leitões nascidos vivos/leitegada ou 33 leitões desmamados/fêmea/ano e não há evidências ainda, de que o patamar máximo para essa medida tenha sido alcançado (SILVA, 2010).

As matrizes modernas são mais precoces e produtivas e possuem maior peso corporal, portanto tornaram-se nutricionalmente mais exigentes (SILVA, 2010). Assim, matrizes de linhagens modernas apresentam menor reserva corporal, maior exigência de manutenção e menor capacidade de consumo de alimento. Apesar de apresentarem alta capacidade de mobilização das reservas corporais, quando comparada com matrizes de anos anteriores, isto pode ser insuficiente para atender a demanda de nutrientes para a produção de leite. A perda excessiva de tecidos corporais coloca em risco a integridade corporal e o desempenho reprodutivo futuro destes animais.

As necessidades nutricionais e a disponibilidade de nutrientes das dietas de fêmeas modernas são pouco conhecidas, quando comparadas ao conhecimento que se têm para suínos em fase de crescimento e terminação (SILVA, 2010). Segundo o Commonwealth Agricultural Bureau o número de pesquisas publicadas durante os últimos 40 anos com matrizes suínas, equivale a menos de 1% de todas as publicações referentes a suínos (BALL et al., 2008).

Apesar da produtividade dos genótipos modernos das matrizes aumentarem rapidamente nos últimos 20 anos, os níveis nutricionais adotados ainda são baseados em resultados de pesquisas feitas entre a década de 70 a 90 (como pela Agricultural Research Council-ARC (1981) e National Research Council (1998)). Ainda, grande parte das recomendações para as fêmeas em reprodução são extrapolações não verificadas de pesquisas com suínos em terminação (SILVA, 2010).

É preciso estabelecer um programa adequado de nutrição de matrizes considerando-se a genética adotada, as suas necessidades nutricionais e os fatores que afetam tais necessidades, bem como entender os aspectos metabólicos entre genótipo, nutrição e reprodução (SILVA, 2010).

Já a nutrição da matriz lactante deve ter dupla finalidade: garantir maiores leitegadas e de maior peso ao desmame, e preservar a capacidade reprodutiva nos cios subsequentes. O primeiro item relaciona-se com a capacidade de produção de leite da matriz, enquanto o segundo é reflexo da dinâmica do estado metabólico que ela enfrenta durante o período de lactação e seu efeito sobre os hormônios, fatores estes fortemente influenciados pela perda de peso corporal (SILVA et al., 2004).

De acordo com Clowes et al. (2003), a perda de 10 a 15% do peso corporal durante a lactação tem como conseqüências a redução da produção de leite e do desempenho reprodutivo subsequente. Situação mais evidente em matrizes de primeiro parto (ainda em fase de crescimento), que têm suas exigências nutricionais aumentadas. O resultado pode ser uma elevada taxa de descarte de matrizes antes do terceiro parto, comprometendo o rendimento econômico da criação (ABREU et al., 2005). Então, para otimizar a produção de leite e minimizar a mobilização corporal das porcas, as rações devem ser formuladas para máxima eficiência de aproveitamento dos nutrientes.

Já para os leitões, o período pós-desmame é a fase mais crítica no desenvolvimento dos suínos, principalmente porque neste período o sistema digestório está pouco adaptado para o aproveitamento de alimentos sólidos, diferentes do leite, acarretando, muitas vezes, na presença de diarreia, característica desta transição.

Assim, de acordo com Mahan (1991), o período inicial após o desmame tem se caracterizado por redução no desempenho dos animais. Fatores como a idade e peso ao desmame, estresse, baixo consumo de alimento, composição da dieta, imaturidade digestiva e fatores ambientais, estão incluídos entre as causas de redução do crescimento durante a primeira semana após o desmame.

Dependendo dos substratos utilizados nas dietas, o desenvolvimento do sistema enzimático do leitão se completa até a oitava semana de idade. Mas, com a finalidade de aumentar os índices produtivos da granja, como número de partos/porca/ano e número de desmamados/porca/ano, tem sido uma prática comum a desmama precoce com idades iguais ou inferiores a 21 dias de idade (BARBOSA, 2007).

Assim, os leitões são desafiados cada vez mais cedo, visto que o desmame, além de ocasionar estresse ao animal, em decorrência da mudança de ambiente e da separação da mãe, impõe aos leitões mudança brusca na alimentação, uma vez que a dieta constituída basicamente de leite materno é substituída por outra à base de ingredientes de origem vegetal (BARBOSA, 2007).

Acredita-se que até os 28 dias de idade, o sistema digestório dos leitões não produz quantidades suficientes de amilases, lípases e outras enzimas responsáveis pela digestão dos nutrientes de matérias-primas de origem vegetal usadas em dietas para a fase pré-inicial. Em decorrência dos fatores já citados, acredita-se que estas sejam a causa do menor consumo de ração observado nos dias pós desmame, podendo acarretar em menor ganho de peso e pior conversão alimentar.

Diante do contexto em que se insere matriz e leitão no sistema produtivo de suínos, torna-se importante a busca de ferramentas que possibilitem o melhor desempenho reprodutivo das matrizes e zootécnico de ambos. Dentre estas ferramentas a nutrição é de grande importância, visto que, constantemente, a indústria de alimentos busca oferecer produtos que melhorem os índices de produção. A atualização dos requerimentos nutricionais, bem como o melhor aproveitamento dos ingredientes, visam acompanhar o avanço genético que a espécie suína tem demonstrado no decorrer dos anos e por esse motivo é crescente o número de estudos com esse objetivo.

4.2. Características morfológicas do intestino dos suínos

A digestão é o processo de decomposição de nutrientes complexos em moléculas simples. Por sua vez, a absorção é o transporte de tais moléculas através do epitélio intestinal. Esses dois processos são resultados de diferentes eventos bioquímicos que ocorrem no intestino e ambos são necessários para a assimilação de nutrientes no organismo. Não ocorre absorção se não houver digestão dos alimentos, e o processo de digestão é improdutivo se os nutrientes digeridos não forem absorvidos. Assim, os distúrbios de assimilação de nutrientes são comuns e podem ser causados por uma série de fatores e enfermidades, algumas das quais podem afetar a digestão e outras a absorção (CUNNINGHAM, 1992).

Os desafios relacionados ao desmame de leitões são amplamente conhecidos: limitações de consumo, transição de dieta, estresse sócio-ambiental, separação da mãe, dentre outros. Nem mesmo as exigências energéticas dos leitões são supridas nessa fase inicial pós-desmame, de tal forma que os leitões normalmente enfrentam uma situação de balanço energético negativo (PLUSKE et al., 1995; LE DIVIDICH; SEVE, 2000).

A transição de dieta líquida e frequente, para uma dieta sólida e menos frequente, implica em uma série de alterações na fisiologia digestiva. Com a retirada e substituição do leite materno como alimento principal, ocorre não somente um drástico decréscimo no aporte

de imunoglobulinas, mas também de nutrientes essenciais e de diversos fatores de crescimento (MELLOR, 2000).

Já está amplamente demonstrado que a atividade enzimática intestinal fica sensivelmente comprometida nos primeiros dias após o desmame, com redução da capacidade de digestão protéica e energética (LINDEMANN, 1986). Mas são as alterações estruturais e funcionais do tecido intestinal as que mais interferem sobre a saúde e o desempenho dos leitões recém-desmamados. Dentre as alterações estruturais, destacam-se principalmente a redução na altura das vilosidades e o aumento na profundidade das criptas, com redução da atividade enzimática da borda em escova e sensível diminuição da capacidade de absorção de nutrientes (MILLER et al., 1991; PLUSKE et al., 1995). O efeito combinado desses fatores está diretamente associado à redução de consumo e ao desempenho comprometido, que muitas vezes são observados nesta fase em condições práticas (MACHADO, 2007). Assim, a mucosa intestinal altera-se, diminuindo as capacidades digestiva e absorptiva do intestino delgado (CERA et al., 1988), como consequência da maior descamação do epitélio intestinal, em resposta a esta agressão, ocorre redução da altura dos vilos e aumento da profundidade das criptas (ARGENZIO, 1993).

Entre os fatores que afetam a morfologia intestinal, destacam-se a invasão por microrganismos, a presença de alimento no lúmen intestinal, a quantidade de alimento ingerido (PLUSKE et al., 1997) e o contato com compostos alergênicos (LI et al., 1991). Por exemplo, o farelo de soja, principal fonte protéica nas dietas de suínos, contém glicina e betaconglucina, proteínas capazes de provocar respostas de hipersensibilidade e alterar o epitélio intestinal dos leitões (LI et al., 1990), ocasionando alterações morfológicas e fisiológicas que afetam a absorção de nutrientes e prejudicam o desenvolvimento dos leitões.

É importante ressaltar que limitações de digestão e absorção no intestino delgado acabam por propiciar acúmulo de substrato fermentável para multiplicação de bactérias patogênicas e enterotoxigênicas, causadoras de diarreias. A presença de bactérias enteropatógenas e sua interação com o intestino, a má adaptação dos leitões aos agentes estressores do desmame, a supressão total do leite da mãe, a mudança da dieta após o desmame e as citocinas como reguladoras do crescimento intestinal foram relatados por Pluske et al. (1997) como os fatores que contribuem nas mudanças da estrutura intestinal por ocasião do desmame.

A atrofia das vilosidades após o desmame, pode ser causada pelo aumento da taxa de perda celular ou reduzida taxa de renovação celular. Se o encurtamento das vilosidades ocorre

através do aumento da taxa de perda de células (pode ser causado por desafio microbiano ou composição da dieta), então esta está associada ao aumento da produção de células na cripta e, consequentemente, aumento da profundidade desta. No entanto, atrofia das vilosidades também poderia ser devido a uma diminuição da taxa de renovação celular que é o resultado de divisão celular reduzida nas criptas (causada, por exemplo, por jejum prolongado). Embora ambos eventos sejam susceptíveis de ocorrer após o desmame e reduzir a relação altura das vilosidades:profundidade das criptas, é provável que o primeiro seja o de maior efeito na estrutura do intestino (PLUSKE et al., 1997).

As marcantes e abruptas respostas morfológicas ao desmame no intestino delgado de leitões, caracterizado pela transformação de uma densa população de vilos semelhantes a dedos para uma superfície em formato de língua (NABUURS, 1995) (Figura 1), pode indicar reações críticas da capacidade digestiva do leitão jovem a ingredientes utilizados na fase inicial. Durante o período pós-desmame, a área de superfície do vilo do intestino delgado é significativamente alterada, pelo menos durante o período de 7 a 14 dias pós-desmame. O encurtamento da área de superfície do vilo do intestino delgado poderia predispor os leitões desmamados à má absorção, à desidratação e diarreia e a condições entéricas infecciosas que frequentemente são encontradas em granjas comerciais (JUNQUEIRA et al., 2008).

Figura 1. Eletromicrografias de varredura do duodeno de leitões ao desmame (controle) e aos 14 dias pós desmame respectivamente, em função das diferentes fontes protéicas (SCANDOLERA, 2005).

Uma boa relação altura do vilo/profundidade de cripta ocorre quando os vilos se apresentam altos (em forma de dedos) e as criptas pouco profundas, proporcionando melhor absorção de nutrientes (SANTOS et al., 2002).

De acordo com Heo et al. (2008) uma forma de controlar a quantidade de proteína disponível para fermentação microbiana e, consequentemente, reduzir a incidência de diarreia pós desmame é fornecer aos leitões dietas com menor nível protéico. Contudo, dependendo

dos ingredientes utilizados, faz-se necessário a utilização de aminoácidos sintéticos encarecendo a dieta. Então, uma alternativa mais econômica seria a suplementação com óxido de zinco (ZnO) em níveis farmacológicos na prevenção de diarreias (POULSEN, 1995).

Foi descoberto nos anos 80 que a utilização de ZnO em dosagem farmacológica nas rações de leitões pós-desmame apresentavam resultados benéficos no controle de diarreia e melhoravam as taxas de crescimento (POULSEN, 1989). Desta forma Heo et al. (2010) em seus trabalhos encontraram resultados nos quais dietas com baixa proteínas suplementadas com aminoácidos ou a adição de ZnO (2500 ppm) em ambas dietas, baixa e alta proteínas, podem ser estratégias eficazes na redução de diarreia pós desmame em leitões desafiados ou não por *Escherichia coli* (*E. coli*). Ressalta-se que em situação comercial os leitões estão expostos a um maior grau de desafio por essa bactéria, logo os resultados de Heo et al. (2010) fornecem informações importantes ao setor produtivo.

O desempenho dos leitões na primeira semana após o desmame é um excelente preditor do desempenho geral dos animais nas fases de recria e terminação (MACHADO, 2007). Na Tabela 1, pode-se observar o impacto do ganho de peso na primeira semana pós-desmame sobre o desempenho dos leitões nas fases subsequentes.

Tabela 1. Efeito do ganho de peso (GP) na 1ª semana pós desmame sobre o desenvolvimento subsequente dos leitões até o abate.

Idade (dias)	GP ao 7º dia após o desmame (kg)			
	0	0-0,15	0,15-0,23	>0,23
25	14,5	15,9	16,8	18,2
56	30,0	30,9	32,7	35,0
156	105,3	108,5	111,7	113,5
Dias para 113,5 kg de peso	183	179	175	173

Fonte: Mahan e Parrett, 1996.

Considerando o conhecimento acumulado sobre as alterações estruturais e funcionais que ocorrem na mucosa intestinal, bem como a importância da maximização do desempenho logo nas primeiras semanas pós-desmame, torna-se essencial aplicar todos os esforços na reversão ou minimização dessas alterações.

Assim, existem objetivos práticos para uma moderna e eficiente nutrição pós-desmame (MACHADO, 2007):

- Estimular o consumo elevado e imediato;
- Contribuir para a integridade e função intestinal;
- Promover rápido reequilíbrio da microflora;
- Estimular o desenvolvimento de imunidade ativa.

É neste contexto que a nutrição representa a ferramenta mais importante para essa fase. Sendo em termos práticos, as dietas pré-iniciais e iniciais o mais importante “veículo” carreador de soluções para superarmos os desafios inerentes ao processo de desmame (MACHADO, 2007) e visualizar seus efeitos sobre o desempenho futuro dos animais. Ainda, investigar se a suplementação dietética da matriz exerce algum efeito sobre o desempenho e imunidade da progênie e com resultante melhora dos índices produtivos da maternida, creche e possivelmente, terminação.

4.3. Exigência Mineral

Os minerais estão divididos em macrominerais e microminerais (também conhecidos como minerais traços), os primeiros são exigidos em grandes quantidades pelo animal, enquanto o segundo, em menores quantidades. Constituem uma pequena porcentagem na dieta dos suínos, mas possuem grande importância sobre a saúde e bem estar dos animais. Os suínos exigem no mínimo 13 minerais: cálcio, fósforo, cloro, cobre, iodo, ferro, magnésio, manganês, potássio, selênio, sódio, enxofre e zinco (NRC, 1988).

Os elementos minerais são comumente ignoradas como fonte de nutrientes na alimentação animal. Contudo são necessários para manter a função corporal, para otimizar o crescimento, a reprodução e a resposta imune, tendo papel importante sobre a saúde dos animais, consequentemente a deficiência de elementos minerais pode causar considerável redução no desempenho (CLOSE, 2002).

Frequentemente, o conteúdo e/ou disponibilidade de microminerais em grãos são muito baixos para atender as exigências metabólicas dos animais, por isso a suplementação dietética de microminerais é muitas vezes necessária. Sabendo-se que as concentrações de mineral nos grãos refletem o estado nutricional da planta, aquelas cultivadas em condições deficientes terão menor concentração de grãos e produção potencialmente mais baixos. Assim, concentrações microminerais variam muito entre os tipos de grãos (Tabela 2) e variedades, por isso muitas vezes se subestima tais valores, fazendo a suplementação mineral industrialmente.

Tabela 2. Análise média de grãos e subprodutos (NRC, 1998)

Ingrediente	Mineral, mg/kg				
	Cu	Fe	Mn	Se	Zn
Milho	3	29	7	0,07	18
Trigo	6	39	34	0,33	40
Soja	16	80	30	0,11	39
Farelo de Soja	20	176	36	0,27	55

Adaptado, Peters, 2006

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progênie

A forma como os minerais são absorvidos no trato gastrointestinal é geralmente o fator limitante para a sua utilização. No organismo animal, a absorção dos minerais pode ocorrer por difusão facilitada (passiva) ou por transporte ativo, dependendo da concentração do mineral no meio. Durante a digestão, os íons minerais podem se recombinar ou interagir com outros componentes da digesta, formando complexos insolúveis e assim serem excretados, reduzindo sua absorção através do intestino (ACDA; CHAE, 2002). Podem também ser formados nesta interação, precipitados insolúveis pela competição de dois ou mais minerais pelo mesmo ligante, podendo ser orgânico como o ácido fítico ou inorgânico como o fosfato, levando a redução na absorção dos minerais (CABELL; EARLE, 1965; VOHRA et al., 1965).

Na tabela 3 é apresentado a variação do conteúdo corporal de minerais em suínos do nascimento até a maturidade.

Tabela 3. Conteúdo mineral total de suínos em crescimento, do nascimento até 145 kg de peso corporal e terceira ordem de parição de matrizes

Mineral	Nascimento	Desmame	75 kg	145 kg	Matriz
Ca, g	15,20	88,30	483,20	1078,4	1327,00
P, g	8,80	54,00	318,60	637,30	768,30
Fe, g	0,03	0,19	1,41	1,90	77,33
Zn, g	0,02	0,11	0,97	1,75	3,75
Cr, mg	0,62	6,86	27,08	71,9	124,33
Cu, mg	2,45	9,64	56,29	93,96	466,33
Mn, mg	0,65	3,43	25,49	31,05	141,00
Se, mg	0,11	0,66	10,09	33,50	20,33

Fonte Adaptado: Peters, 2006

As exigências para minerais são difíceis de estabelecer e geralmente são baseados na exigência mínima para superar um sintoma de deficiência e não necessariamente para melhorar a produtividade ou ainda, melhora da imunidade. Muitos dos estudos sobre exigências minerais para suínos foram conduzidos nas décadas de 1960 e 1970 e podem não ser aplicáveis aos animais de linhagens modernas (Tabela 4). Ou seja, as exigências minerais têm permanecido imutáveis nas últimas três décadas (NRC, 1973, 1979, 1988, 1998). Ainda, Close (2002) ressalta que as diferenças em exigência de nutrientes são resultados de diferentes metas de produção e diferem do status fisiológico do animal.

Tabela 4. Requerimento dietético para elementos minerais (mg/kg dieta)* para suínos

Fonte	Peso corporal (kg)							
	Creche (< 20)		Crescimento (20-50)		Terminação (50-120)		Matrizes	
	ARC ¹	NRC ²	ARC ¹	NRC ²	ARC ¹	NRC ²	AFRC ³	NRC ²
Zinco	50	100	50	60	50	50	50	50
Manganês	16	4	16	2	16	2	15	20
Ferro	60	100	-	60	-	50	60	80
Cobre	4	6	4	4	4	3,5	5	5
Iodo	0,16	0,14	0,16	0,14	0,16	0,14	0,5	0,14
Selênio	0,16	0,3	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15

*Valores representam o maior valor cotado. 1. ARC (1981) por kg de matéria seca; 2. NRC (1998) 90% de matéria seca; 3. AFRC (1990) 90% de matéria seca.

Van Lunen e Cole (1998) sugeriram que as necessidades minerais para crescimento em leitões híbridos de crescimento rápido são quase duas vezes maiores do que o nível requerido para leitões de crescimento mais lento de 20 a 30 anos atrás.

Também, destaca-se a importância dos minerais sobre o aspecto reprodutivo. Tem-se que o tamanho da leitegada ao parto é determinada em grande parte nos primeiros 30 dias de gestação e que é influenciado pelo número de ovulação e sobrevivência embrionária (WILMUT et al., 1986), enquanto o número de natimortos é determinada pela morte fetal ocorrido 30 dias após cobertura ou durante o processo de nascimento. Assim, estudos anteriores demonstraram que o tamanho da leitegada foi aumentada quando a dieta deficiente em mineral foi complementada com Cu (CROMWELL et al., 1993), Mn (PLUMLEE et al., 1956), ou Zn (HILL et al., 1983b).

Da mesma forma, Mahan e Newton (1995) demonstraram em seus estudos que o conteúdo de mineral corporal de matrizes no fim da terceira parição foi consideravelmente menor, quando a média de peso da leitegada aos 21 dias foi acima de 60 kg, comparado com aquelas abaixo de 55 kg, e para ambos os grupos o valor foi significativamente menor do que na primeira monta aos 9 meses de idade. Isto sugere que ocorreu considerável desmineralização da estrutura óssea das matrizes para atender o maior nível de produção. Estes dados aumentam a questão sobre a atual recomendação do conteúdo mineral das dietas, a disponibilidade do mineral para o animal e os efeitos do status mineral sobre a produtividade. Isto é especialmente pertinente para matrizes, em que as perdas de mineral corporal é ainda mais exarcebada durante a lactação. E se a ingestão dietética durante o final da gestação e lactação for insuficiente para atender suas demandas metabólicas, o animal terá que mobilizar suas reservas corporais, e o contínuo uso destas pode resultar em redução do

status mineral (CLOSE, 2002), e como demonstrado por Damgaard Poulsen (1993) causando prejuízos ao desempenho.

Diante disso, comercialmente, muitos minerais são fornecidos na dieta acima dos níveis recomendados a fim de garantir melhor desempenho animal. Whittemore et al. (2002) encontraram em diversos países da Europa o uso de níveis de três a quatro vezes maiores do que o recomendado pelo ARC (1981), NRC (1988) ou AFRC (1990) (Tabela 5). Valores esses fornecidos para garantir bom desempenho e atender as necessidades animais em diferentes sistemas de produção e manejo, bem como melhorar a resposta imune e o estado de saúde (CLOSE, 2002).

Tabela 5. Faixa de adição de mineral dietético em diversos países europeus (mg/kg alimento)

Fonte	Peso corporal (kg)			
	Creche (< 20 kg)	Crescimento (20-50 kg)	Terminação (50-120 kg)	Matrizes
Zinco	100-200	100-200	70-150	80-125
Manganês	40-50	30-50	25-45	40-60
Ferro	80-175	80-150	65-110	80-150
Cobre	6-18	6-12	6-8	6-20
Iodo	0,2-1	0,2-1,5	0,2-1,5	0,2-2,0
Selênio	0,2-0,3	0,15-0,3	0,2-0,3	0,2-0,4

Whittemore et al., 2002

No Brasil destaca-se o trabalho Pupa et al.(2005) que aplicaram um questionário a nutricionistas independentes ou funcionários de empresas brasileiras de grande porte, e verificaram que nas dietas pré-iniciais e iniciais são adicionados maior número de aditivos, comparadas às dietas das outras fases de produção de suínos, destacando-se os antibióticos, promotores de crescimento, óxido de zinco, sulfato de cobre, acidificantes, aromatizantes e antioxidantes como amplamente utilizados nas dietas. Porém, ainda é reduzido o uso de probióticos, minerais orgânicos, mananoligossacarídeos, leveduras e enzimas. Mas o que mais chamou a atenção neste estudo foi a variação de inclusão dos ingredientes usados nas rações, destacando-se o zinco por ser objeto de estudo no presente trabalho (Tabela 6).

Tabela 6. Valor máximo, mínimo e a variação em percentagem do zinco utilizado pelos nutricionistas das integrações e independentes em rações pré-iniciais e iniciais.

	Pré inicial 1			Pré inicial 2			Inicial		
	Min	Max	Var.	Min	Max	Var.	Min	Max	Var.
Zn (mg/kg)	100	3000	2900	100	3000	2900	190	1500	689

Mín.= mínimo; Max.= máximo; Var.= variação (%)

Fonte: Adaptado de Pupa et al. (2005)

No trabalho de Pupa et al. (2005) chama a atenção a grande variação nos níveis usados para suplementar zinco, na Tabela 7 apresenta-se os valores encontrados em nove empresas comerciais da região sudeste, segundo suas recomendações para as fases de creche. Estes dados

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progenie

demonstram claramente a variação e inadequação dos níveis praticados, podendo até serem tóxicos. Ainda, não foram apresentados na referida tabela, mas no estudo citado, encontram-se inadequações para os níveis de proteína bruta e cálcio.

Tabela 7. Níveis nutricionais de rações pré-iniciais I, pré-inicial II e inicial de nove empresas comerciais, segundo suas formulações para região sudeste do Brasil.

Pré – inicial I (7 a 35 dias)									
Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Idade de consumo das dietas, dias	10-28	7-24	7-25	5-22	7-24	7-22	7-35	7-28	Até 21
Zn (mg/kg)	4081	100	2800	Ni	2520	Ni	75	800	2000
Pré – Inicial II (22 a 35 dias)									
Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Idade de consumo das dietas, dias	29-35	25- 35	26-35	22-35	25-35	22-35	7-35	29-35	22-35
Zn (mg/kg)	1575	4069	200	2000	180	Ni	75	800	Ni
Inicial (36 a 50 dias)									
Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Idade de consumo das dietas, dias	36-50	36-49	36-49	36-49	36-50	36-50	36-49	36-50	36-50
Zn (mg/kg)	158	75	3080	Ni	86	150	Ni	1500	800

Ni = não informado

Fonte: Adaptado de Pupa et al. (2005)

O fato é, que no Brasil, também trabalha-se com níveis bem acima dos recomendados pelo NRC, sem contudo verificar se esse aumento promove de fato melhorias, ou acarretaria apenas em poluição ambiental, uma vez que a maior parte dos entrevistados no estudo citado trabalharia com a fonte inorgânica de zinco.

Peters e Mahan (2008) demonstraram que a suplementação dietética com micromineral orgânico acima dos níveis recomendados pelo NRC (1998) aumentou o desempenho reprodutivo de matrizes suínas, mas quando o uso de microminerais inorgânicos foi elevado o tamanho da leitegada não foi melhorado, evidenciando uma vantagem para o uso dos minerais orgânicos. Ainda, não estão claros os mecanismos que causam os efeitos benéficos dos microminerais orgânicos sobre o desempenho reprodutivo, mas podem ser utilizados, mais efetivamente, com uma demanda nutricional aumentada.

Continuando este estudo, Peters et al. (2010) avaliaram o efeito de diferentes fontes microminerais (Selênio (Se), Cobre (Cu), Magnésio (Mg) e Zinco (Zn) orgânico versus inorgânico) e em níveis variados (recomendação NRC (1998) versus recomendação comercial (acima dos níveis estabelecidos pelo NRC (1998)) e ainda, recomendação comercial mais elevação nos níveis de Ca e P, sobre o conteúdo micromineral corporal, de fígado, de colostro, de leite das matrizes (de diferentes ordens de parição, 1,2,3,4,5 e 6) e sobre o conteúdo micromineral corporal e de fígado da progênie. Os autores encontraram que as diferentes

fontes e níveis de micromineral, e adição de cálcio (Ca) e fósforo (P), não afetam a composição corporal da fêmeas, com excessão apenas para o Se, em que a fonte e o aumento dos níveis exercem efeito sobre o conteúdo mineral corporal diferente da fonte inorgânica. Da mesma forma, o colostro também não sofreu efeito das variáveis testadas, exceto novamente o Se em que fêmeas suplementadas com a fonte orgânica deste mineral apresentaram maiores níveis no colostro produzido. No leite, os níveis de Cu e Zn foram aumentados quando trabalhou-se com níveis acima da recomendação do NRC (1998), e para Se, houve influência deste mineral na forma orgânica e quando níveis aumentados foram utilizados. Assim, os autores concluíram que os resultados encontrados neste experimento indicam que as fontes e os níveis de microminerais têm efeitos mínimos sobre o conteúdo mineral corporal e de fígado em matrizes, ou no colostro e em leitões ao nascimento, exceto para o Se que foi maior quando a forma orgânica foi suplementada. Neste mesmo estudo, os autores encontraram interação entre a ordem de parição e a fonte micromineral para Zn, em que fêmeas alimentadas com fonte orgânica de Zn aumentaram o conteúdo corporal deste mineral a medida que a ordem de parição avançava, diferentemente de quando a fonte inorgânica foi suplementada. Neste estudo os autores indicam que matrizes de alta produção deveriam ser suplementadas com requerimento micromineral acima dos recomendados pelo NRC (1998). Indicou ainda que a transferência de minerais para o feto no útero não foi grandemente afetada pela fonte e nível mineral administrado dieteticamente para fêmeas em gestação, exceto Se.

Por outro lado, reservas minerais em leitões neonatais, são aumentadas quando matrizes gestantes são alimentadas com dietas contendo quantidades extremamente elevadas de Zn, (HILL et al., 1983a) ou Manganês (Mn) (GAMBLE et al., 1971).

Porém, o aumento da consciência da contaminação ambiental, pelo excesso de elementos minerais na dieta animal, tem levado ao aumento de pesquisas com esse enfoque. A preocupação está relacionada ao solo (acúmulo e escoamento de minerais das terras onde o esterco foi aplicado), água (superficial e subterrânea), e qualidade de ar (STALDER et al., 2004). E como exposto, a produção de suínos tem se utilizado de dietas concentradas com excesso de minerais a fim de maximizar o desempenho dos animais e permitir que os mesmos resistam aos vários eventos biológicos estressores (CARLSON et al., 1999; HILL et al., 2000). Desta forma, para evitar estes danos uma opção seria melhorar a eficiência do uso dos nutrientes através da forma como é suplementada, sugerindo-se o uso de fontes orgânicas, e a

segunda seria ajustar os níveis de acordo com as necessidades fisiológicas para ótimo crescimento, desempenho e saúde (BURKETT et al., 2006).

4.4. Fontes e biodisponibilidade dos minerais

Sais inorgânicos, como os sulfatos, carbonatos, cloretos e óxidos são comumente adicionados a dieta para fornecer níveis corretos as necessidades animais. Tais sais são hidrolisados no trato digestivo e formam íons livres e então, são absorvidos. Contudo, íons livres são muito reativos e podem formar complexos com outras moléculas da dieta, tornando-se difíceis de serem absorvidos (CLOSE, 2002).

Assim, as dietas de suínos são comumente suplementadas com elementos minerais, incluindo Fe, Zn, Cu, Mn, Se e outros minerais. Estes podem ser adicionados, como já exposto, como sais, mas recentemente, as formas orgânicas têm sido usadas (JONDREVILLE et al., 2002; REVY et al., 2003). Destaca-se o Cu e o Zn como os principais microminerais poluentes por ser comum o uso como aditivos nas indústrias de aves e suínos (CARLSON et al., 1999). Apesar das exigências dos suínos para esses minerais serem baixas, na prática tais minerais são utilizados em grandes quantidades como promotores de crescimento. A grande quantidade de minerais não utilizadas podem ser excretas e causar problemas ambientais (CLOSE, 2002). Segundo o NRC (1998), os níveis de Cu e Zn exigidos pelos leitões na fase pós-desmama variam de 5 a 6 ppm para o primeiro e de 80 a 100 ppm para o segundo, mas, é uma prática comum pela indústria suínica brasileira a inclusão de níveis entre 150 a 250 ppm e 2500 a 3000 ppm de Cu e Zn, respectivamente, como promotores de crescimento. Níveis mais elevados de zinco e cobre nas dietas são praticadas com a finalidade de terem ação antimicrobiana, reduzindo assim, a ocorrência de diarreias pós-desmame, uma das maiores causadoras de perda de desempenho e na retabilidade do sistema produtivo. A utilização com essa finalidade, em alguns países, foi proibida, justamente devido aos impactos ambientais (MURPHY; LANGE, 2004). Tornando-se importante aprimorar a utilização destes minerais, a fim de melhorar o aproveitamento destes e reduzir os problemas ao meio ambiente.

Tem-se que o intestino delgado é o principal sítio de absorção mineral em suínos. A disponibilidade dos elementos minerais varia consideravelmente, e sob condições extremas, pode estar indisponível para absorção, como devido a inter-relação com outros minerais, fontes proteicas e níveis de fitato presente nos grãos empregados na dieta.

A biodisponibilidade é normalmente definida como o grau que um nutriente ingerido, em uma fonte particular, é absorvido em uma forma que pode ser utilizada ou metabolizada pelo animal. Damgaard Poulsen e Carlson (2001) mostraram que não existe grande diferença entre as diferentes fontes inorgânicas de Zn, implicando em 75 à 80% do zinco ingerido sendo excretado pelos animais. Por essa razão, é crescente o interesse na adoção de minerais orgânicos, que é proteínado ou quelado ao elemento mineral. Nesta forma, o mineral é quimicamente ligado ao agente quelante ou ligante, geralmente uma mistura de aminoácido ou pequenos peptídeos. Tal fato torna o mineral mais biodisponível e bioativo e fornece ao animal uma vantagem metabólica que geralmente resulta em melhor desempenho. Ainda, os minerais nessa forma podem ser incluídos em menor quantidade, porém sem comprometer o desempenho, mas minimizando a excreção de nutrientes e o impacto ambiental (CLOSE, 2002).

A biodisponibilidade do zinco no complexo zinco-metionina (Zn-Met) é maior em relação ao ZnSO_4 , na presença de fatores antinutricionais na dieta, como fitato e fibra, pois os microminerais na forma orgânica são mais protegidos quanto à formação de complexos indigestíveis com o ácido fítico (WEDEKIND et al., 1992). Ainda, a disponibilidade do zinco orgânico é maior que a fonte inorgânica em dietas com altos níveis de cálcio e cobre (SUSAKI et al., 1999).

Minerais orgânicos, também denominados de quelatados, são definidos como aqueles que estão ligados a moléculas orgânicas (PEIXOTO et al., 2005). A palavra quelato vem do grego “chele” que significa “garra” descrevendo a forma como os íons metálicos polivalentes ligam-se aos compostos orgânicos ou sintéticos (MELLOR, 1964). Um quelato é um mineral ligado a um não metal, chamado de agente ligante que podem ser aminoácidos, peptídeos ou complexos polissacarídeos que proporcionam ao composto alta disponibilidade biológica, alta estabilidade e solubilidade. De acordo com Kratzer e Vohra (1996) quelato é um complexo metálico em que o metal apresenta mais ligações do que sua valência, e é ligado a um ligante doador. O complexo possui um átomo de mineral no centro da molécula e um ligante ao seu redor. Lavorenti (2007), chama de complexo quando o átomo de metal é ligado a um único ponto e de quelato quando está ligado por mais de um.

Segundo a Association of American Feed Control Official (AAFCO, 2000), minerais orgânicos são íons metálicos ligados quimicamente a uma molécula orgânica formando estruturas com características únicas de estabilidade e de alta biodisponibilidade mineral. No caso de mineral orgânico com aminoácidos, têm-se que o ligante pode ser classificado como:

um aminoácido específico; um pequeno número de aminoácidos e um grupo indeterminado de aminoácidos (proteínados). Para Peixoto et al. (2005), nem todo metal complexado pode ser definido como quelatado, para tanto, estes precisam conter ao menos dois grupos funcionais (oxigênio, nitrogênio, amino, hidroxil) e serem capazes de doarem um par de elétrons e combinar-se através de ligações covalentes combinadas, com um metal, e formar um anel heterocíclico com este.

De acordo com Baruselli (2005) no quelato, dois ou três aminoácidos ligam-se a um mesmo átomo de metal, formando moléculas anelares bibiclicas (dipeptídeos) e tricíclicas (tripeptídeo), assim, o quelato possui as propriedades dos metais e dos aminoácidos. E se o mineral for corretamente quelatado apresentará altos coeficientes de absorção e tende a ser absorvido no intestino de forma semelhante a um dipeptídeo ou tripeptídeo.

A AAFCO (2000) define como minerais orgânicos:

- Quelato metal-aminoácido: produto resultante da reação de um sal metálico solúvel com aminoácidos na proporção molar, ou seja, um mol de metal para um a três moles (preferencialmente dois) de aminoácidos por ligação covalente coordenada. O peso molecular médio dos aminoácidos hidrolisados pode ser de, aproximadamente, 150 daltons não excedendo 800 daltons.

- Complexo aminoácido-metal: produto resultante da complexação de um sal metálico solúvel com aminoácido (s).

- Metal protéinado: produto resultante da quelação de um sal solúvel com uma proteína parcialmente hidrolisada.

- Complexo metal-polissacarídeo: produto resultante da complexação de um sal solúvel com polissacarídeo.

Neste último grupo situa-se o carboaminofosfoquelato ou carboquelato, resultante da lise enzimática de leveduras específicas, em que as cepas de *Saccharomyces cerevisiae* são as mais utilizadas (BARUSELLI, 2008).

As fontes de microminerais inorgânicas (óxidos, sulfatos, cloretos etc) quando chegam ao estômago dos monogástricos, sofrem uma dissociação das moléculas, devido ao pH ácido, liberando os íons metálicos. Já no intestino delgado, o transporte dos íons para o interior da célula ocorre por difusão passiva ou transporte ativo, porém para que isto ocorra estes íons necessitam estar ligados a um agente ligante ou molécula transportadora, permitindo sua passagem através da parede intestinal. Mas, várias vezes, estes íons não encontram carreador disponível no intestino e são excretados. Na forma orgânica, os minerais são absorvidos por

carreadores intestinais de aminoácidos e peptídeos e não pelos clássicos transportadores intestinais de minerais. Por isso não sofrem competição, uma vez que possuem seu próprio aminoácido ao entrar no trato digestivo. Devido à sua forma de ligação, o mineral metálico é quimicamente inerte, assim também não interage com os íons metálicos livres. Consequentemente é absorvido, passando diretamente para o plasma através das células da mucosa intestinal e sua ligação permanece inalterada. A separação do aminoácido quelante irá acontecer no local em que o mineral será usado (BORGES, 2011).

Segundo Ashmead (1993) para serem chamados minerais orgânicos e para que esses apresentem maiores coeficientes de absorção e retenção no organismo, devem estar fundamentados em fatores como:

- **Tamanho:** deve ser suficientemente pequeno para que os minerais, com suas moléculas carregadoras possam ser absorvidos sem sofrerem qualquer digestão. Segundo Lee Tiffin o peso molecular do quelato deve ser inferior a 1500 dáltons para que seja absorvido intacto. Já a AAFCO, como citado, estabelece que o peso molecular do quelato - metal - aminoácido não ultrapasse 800 daltons.

- **Estabilidade:** os quelatos devem ser compostos minerais estáveis e, por isto, menos vulneráveis às interações minerais adversas que ocorrem no aparelho digestivo. De acordo com Ashmead, 1993, a elevada estabilidade de um quelato, adquirida por meio de eficientes processos de fabricação, assegura que não se rompa no estômago, e assim não liberando o metal.

- **Neutralidade:** o composto final denominado quelato não possui carga elétrica. Com isto, o quelato pode ser absorvido no trato digestivo do animal na forma original, além de não sofrer possíveis interferências dos demais componentes da dieta, que poderia torná-lo insolúvel. O complexo proteína transportadora e mineral deve-se apresentar com carga total neutra, pois caso contrário, não ocorrerá absorção (BORGES, 2011).

Em síntese, sobre os minerais quelatado as principais características a serem consideradas são: elevada biodisponibilidade, baixa toxicidade; grande capacidade de transpor a parede intestinal e consequentemente, atingir a circulação; facilidade de ligação nos locais e nas moléculas específicas onde exercem suas funções; capacidade de transpor eficientemente as barreiras placentárias, tornando-se disponível ao feto; ativar os microorganismos da microbiota intestinal e então, melhorando o aproveitamento dos ingredientes da dieta; liberar as moléculas orgânicas ligadas ao metal nos processos metabólicos no interior da célula; ativar e aumentar a secreção de enzimas digestivas (pancreáticas, da mucosa gástrica ou

entérica); regular a absorção mais eficiente dos nutrientes da dieta (POWER; HORGAN, 2000; ACDA; CHAE, 2002).

O antagonismo dos elementos minerais é um processo complexo e que pode influenciar na absorção dos minerais. Essa relação é especialmente acirrada entre os íons minerais Cu, Zn, e Fe, visto que disputam a mesma via de absorção. Deste modo, dietas com altos níveis de Cu podem bloquear a absorção do Zn e do Fe, levando a deficiência destes. Fatores que interferem na absorção dos sais minerais, como o álcool, a gordura e a fibra que formam compostos insolúveis, indisponibilizam o mineral na forma iônica. Ainda, substâncias como ácido fítico, ácido oxálico, entre outros ácidos orgânicos presentes nos cereais também podem se ligar aos íons minerais no trato digestivo formando sais insolúveis ou compostos orgânicos de baixa solubilidade. Assim, ressalta-se que os minerais na forma iônica são muito mais susceptíveis a interagirem com outros compostos do que qualquer outra substância nutriente devido à sua instabilidade e/ou ausência de neutralidade e sua tendência a formar ligações, (BORGES, 2011).

Diante da importância da suplementação mineral sobre a saúde e bem estar dos animais e devido aos possíveis efeitos ao meio ambiente, as fontes orgânicas de minerais têm sido estudadas visando melhorar o desempenho e minimizar os danos ambientais. Wedekind et al. (1992) relatou maior biodisponibilidade dos minerais orgânicos do que a forma inorgânica, aumentando o interesse nestes produtos. Mas para que haja uma maior biodisponibilidade do mineral, não basta que esse apresente elevada absorção. Faz-se necessário também uma elevada retenção do mineral no organismo (MALETTTO, 1997).

4.5. Zinco e fontes disponíveis

O zinco é um cátion bivalente de número atômico 30, sendo um metal leve e de cor azulada (MCDOWELL, 2003). Este é o micromineral mais abundante intracelularmente, e está envolvido em funções estruturais, catalíticas e regulatórias (PECHOVA et al., 2006).

O zinco é essencial para o crescimento normal, reprodução e a longevidade dos animais, tendo um efeito benéfico nos processos de reparo tissular e cicatrização. Durante a deficiência de Zn o crescimento é mais severamente retardado, já que há o envolvimento de Zn em numerosas metaloenzimas, incluindo DNA e RNA sintetases e transferases, muitas enzimas digestivas, e está associada com a insulina e como tal, desempenha um papel crucial no metabolismo de lípidos, proteína e carboidratos em suínos (PLUSKE et al., 2002).

O papel do Zn na síntese de proteínas inclui funções na síntese de nucleotídeos, catabolismo do RNA, e auxiliando na regulação da transcrição. A transcriptase reversa, a DNA e RNA polimerase, e fosforilação dos nucleosídeos são dependentes de Zn. Além disso, o Zn pode estar envolvido no fator de crescimento semelhante a insulina tipo 1 (IGF-1), que medeia os efeitos anabólicos de ação do hormônio do crescimento (ZAPF; FROESCH, 1986).

Ainda, o zinco é componente essencial de inúmeras enzimas presentes nos tecidos animais, incluindo a álcool-desidrogenase, fosfatase alcalina, anidrase carbônica, procarboxipeptidase e superóxido-dismutase do citossol (HARPER et al., 1982). Está envolvido com a síntese protéica e com o metabolismo dos glicídios, além de estar envolvido na síntese da vitamina A e no seu processo de regulação no organismo. Como constituinte da anidrase carbônica, desempenha importante papel na calcificação óssea e por estar nas células beta das ilhotas de Langerhans é um dos constituintes da insulina, como citado anteriormente, o que favorece sua ação hipoglicêmica (ANDRIGUETTO, 2002). O efeito do zinco sobre a imunidade tem sido estudado nas diversas espécies (FLETCHER et al., 1988; VRUWINK et al., 1993; DARDENNE; BACH, 1993). E ainda, atua no processo de geração de queratina e colágeno e síntese de ácidos nucleicos da pele (CLOSE, 2002).

O zinco está presente no metabolismo e função celular, ambos estruturalmente e cataliticamente nas metaloenzimas (O'DELL, 1992). O zinco é o único metal a ser essencial para pelo menos uma enzima em todas as seis classes de enzimas. O zinco metaloenzima está representado em todas as classes de enzimas (Tabela 8). Proteínas contendo zinco estão presentes em mais de 160 enzimas entre as diferentes espécies (SIGEL, 1983).

Tabela 8. Metaloenzimas zinco metal nas seis classes de enzimas

Classe	Enzima
Oxidoreductase	Alcool desidrogenase
	Superóxido dismutase
	Málico desidrogenase
	Lactico desidronenase
Transferase	RNA polimerase
	DNA polimerase
	Transcriptase reversa
Hidrolase	Fosfatase alcalina
	Carboxipeptidase A, B
	Colagenase
Liase	Anidrase carbônica
Isomerase	Fosfomanose isomerase
Ligase	tRNA sintetase

Fonte: Kidd et al., 1996

Apesar de zinco metaloenzimas serem numerosas, sugere-se que o efeito deletério sobre a função imune causado pela deficiência de Zn deva-se a perda das funções enzimáticas

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progenie

(KIDD et al., 1996). A tiamulina, um hormônio que contém Zn, é biologicamente inativada na ausência deste mineral (DARDENNE et al., 1982). Assim, o rápido desenvolvimento dos linfócitos no timo pode ser particularmente vulnerável a diminuição na atividade da tiamulina (KIDD et al., 1996). Níveis intracelulares inadequados de Zn prejudicam a proliferação de linfócitos (CUNNINGHAM-RUNDLES; CUNNINGHAM-RUNDLES, 1988), provavelmente porque a síntese de DNA também é dependente de Zn (PRASAD, 1993). Fornecimento inadequado deste mineral resulta em prejuízo a função celular devido a diminuição na síntese de DNA e RNA (KIDD et al., 1996).

Enquanto o zinco tem um papel catalítico na anidrase carbônica, esta remoção resulta em apoenzimas (VALLE; GALDES, 1984). Superóxido dismutase, uma zinco metaloenzima, serve para proteger células e tecidos do ataque pelo superóxido (O_2^-) (BANNISTER et al., 1971). Devido a fagocitose mononuclear produzir íon superóxido do oxigênio molecular durante a explosão de oxigênio, a superóxido dismutase é vital para manter a integridade dos macrófagos/heterófilos (COOK-MILLS; FRAKER, 1993).

Dardenne e Bach (1993) sugeriram que o Zn pode regular o RNA mensageiro responsável pela síntese de novo de metalotioneína. Assim, um aumento na absorção de Zn, como no uso de zinco metionina pode aumentar os níveis de zinco metalotioneína aumentando, conseqüentemente, a absorção de Zn.

O Zn em sistemas biológicos é primariamente coordenado por nitrogênio, oxigênio ou átomos sulfurados de histidina, cisteína e glutamina ou ácido aspártico (VALLEE; AULD, 1990). Metalotioneínas são proteínas de baixo peso molecular, ricas em cisteína que ligam-se a cátions divalentes (CHESTERS, 1992). Cousins (1985) tem sugerido que as metalotioneínas podem ser um potencial estoque de Zn. Interleucina 1 media um aumento em metalotioneína no fígado que sequestra o Zn durante a infecção (KLASING, 1984). Metalotioneína também pode conter outros minerais como cádmio, mercúrio e cobre, dependendo da exposição do animal a estes metais (CUNNINGHAM-RUNDLES; CUNNINGHAM-RUNDLES, 1988). Portanto, a metalotioneína media a homeostase para estes metais tão bem quanto para o Zn (KAGI et al., 1974).

Em suínos, a maior concentração de Zn está nos pêlos, porém em relação ao seu conteúdo no corpo inteiro, essa quantidade torna-se pequena. A maior reserva de Zn, aproximadamente 60%, está nos tecidos do músculo esquelético (JACKSON, 1989), sendo maior a concentração do mineral no músculo vermelho e menor no músculo branco (CASSENS et al., 1967). O restante das reservas no corpo está primariamente alojado nos

ossos e órgãos. Os fluídos corporais contêm somente uma pequena proporção do Zn total no corpo (HAMBIDGE et al. 1986). A proporção relativa de Zn corporal encontrada no fígado aumenta gradualmente do nascimento até o desmame, após este, sua concentração rapidamente diminui para aproximadamente, os mesmos níveis presentes no nascimento (SPRAY; WIDDOWSON, 1950). De acordo com Emmert e Baker (1995), o tecido ósseo e muscular são armazenadores de zinco, este é liberado quando é exigido em situações de deficiência do mineral na dieta ou há problemas de absorção.

O conteúdo natural de Zn em cereais é de cerca de 20-40 ppm. Subprodutos de sementes oleaginosas, farinha de peixe e de carne e ossos tem maior conteúdo podendo chegar até 100 ppm. Contudo, a interação do Zn com outros minerais e a sua deficiência tem sido observada em dietas com alto cálcio (CLOSE, 2002), visto que este compete pelos sítios de absorção no intestino delgado (KRISTIANSON; WEGGER, 1974). O ácido fitico também reduz a disponibilidade do Zn, o que pode ser reduzido pelo uso da fitase.

Todd et. al (1934) observaram os primeiros sinais clínicos associados a deficiência de Zn em ratos alimentados com dietas com baixo nível do mineral, caracterizado por retardo no crescimento e pelagem anormal. Duas décadas depois, o Zn foi relacionado com o crescimento em suínos e a ocorrência de dermatoses (TUCKER; SALMON, 1955), denominada previamente de paraqueratose por Kernkamp e Ferrin em 1953. A paraqueratose em suínos manifesta-se por lesões cutâneas causadas pelo espessamento ou hiperqueratinização ao redor dos olhos, boca e nas porções inferiores das patas, e em casos mais extremos pode atingir toda a superfície corporal. Pode ainda causar despigmentação dos pêlos e queda dos mesmos. Nos animais jovens, a deficiência do Zn caracteriza-se por diminuição no crescimento, e nas fêmeas, por diminuição da fertilidade e aumento da mortalidade pós-natal dos leitões, além de afetar a concentração de zinco no leite. (ANDRIGUETTO, 2002 e SOBESTIANSKY et al., 1999). A deficiência de Zn causa aumento da fragilidade osmótica da membrana das células vermelhas do sangue (JOHANNING et al., 1990) e depressão de ambos, humoral e resposta celular imune (GRUPTA et al., 1985, VERMA et al., 1988, SPEARS et al., 1991).

O Zn ingerido é excretado principalmente nas fezes, e a maior parte desse mineral é proveniente do alimento que não foi absorvido. Aproximadamente um quarto do Zn fecal é oriundo do suco pancreático, e o restante deriva das secreções gastrointestinais, biliares, do ceco e colo (UNDERWOOD, 1981). Na maioria das espécies, os minerais são mal absorvidos e a quantidade absorvida é influenciada pela forma química, o nível na dieta, e demanda de

nutrientes. Em condições fisiológicas normais e em doses adequadas, apenas 15% de Cu, Fe e Zn dietética são retidos pelo organismo (MCDOWELL, 2003). A eliminação urinária deste mineral é pequena, sendo os traços de Zn encontrado na urina normal proveniente do metabolismo próprio dos rins (ANDRIGUETTO, 2002). As perdas endógenas dos minerais dão-se através de secreções pancreáticas e biliares e pela descamação celular da mucosa intestinal, o que contribui para manter o balanço mineral do corpo equilibrado. Tais perdas aumentam, à medida que aumenta a ingestão de Cu, Mn e Zn e em que ocorre reciclagem entero-hepática (FLEET, 2000), a fim de manter tal balanço em equilíbrio.

De acordo com Kornegay et al. (1996) a absorção de Zn em suínos dá-se em função dos níveis na dieta. Sua absorção ocorre principalmente no intestino delgado, sendo o duodeno o local mais ativo, logo é usado para prevenir doenças entéricas por manter a saúde do epitélio intestinal.

Mas o interesse nas propriedades promotoras de crescimento de óxido de zinco (ZnO) veio à tona depois que um trabalho de Poulsen, 1989, foi publicado, que mostrou aumento no ganho de peso no pós-desmame em suínos suplementados dieteticamente com um nível farmacológico de 3000 ppm de ZnO por até 14 dias após o desmame. Diversos estudos (BERTOL; BRITO, 1998; CARLSON et al., 1999; MAVROMICHALIS et al. 1999) confirmaram este trabalho, e agora é comum incluir ZnO, em níveis que variam entre 2000 e 6000 ppm, em dietas de leitões recém-desmamados. No entanto, alguns outros estudos (WINDISCH et al., 1998) não demonstraram uma melhoria no desempenho com a utilização de ZnO. Os atributos do ZnO como promotor de crescimento pode ser em parte devido à sua eficácia no controle de colibacilose no pós-desmame. Apesar do seu uso generalizado nas dietas pós-desmame, o mecanismo exato pelo qual o ZnO exerce os seus efeitos é incerta. Huang et al. (1999) ofereceu algumas dicas sobre esta questão, visto que suínos alimentados com altas doses de ZnO mostrou reduzida translocação bacteriana do intestino delgado para os linfonodos mesentéricos ileal. Outros pesquisadores (por exemplo, CARLSON et al. 1999) sugeriram que os níveis elevados de ZnO induziu metalotioneína nos enterócitos do intestino que, por sua vez, está envolvido na regulação de RNA e DNA e na proliferação celular. Mavromichalis et al. (1999) não encontraram nenhuma melhoria na estrutura do intestino devido à adição de diferentes fontes de ZnO. Outros pesquisadores não observaram diferenças na ocorrência de diarreia, embora haja mudanças na composição microbiana com o uso de ZnO. Jensen-Waern et al. (1997) relataram que a suplementação de uma dieta com 2500 ppm de ZnO melhorou o desempenho em suínos durante um período de 28 dias seguinte ao

desmame, sem demonstrarem quaisquer sinais clínicos de doença. No entanto, isso também ocorreu no grupo controle que não recebeu 2500 ppm ZnO. Ainda, o uso de ZnO não teve efeitos sobre a excreção de *E. coli* ou *Enterococci* spp/g de fezes, embora esses autores sugeriram que o ZnO em níveis como promotor de crescimento pode reduzir a diversidade da microflora intestinal que, por sua vez, promove uma microbiota mais estável. Por sua vez, Katouli et al. (1999) relataram que a adição de 2500 ppm de ZnO a uma dieta pós desmame não reduziu o número de coliformes totais nas fezes, mas leitões do grupo controle mostrou um aumento tanto na variedade como na diversidade de coliformes em comparação ao grupo tratado.

Mas há uma grande preocupação com o uso de níveis farmacológicas de ZnO devido a excreção do mineral para o meio ambiente. Outras formas de zinco, tais como quelatos de zinco e complexos orgânicos têm maiores biodisponibilidades do que o ZnO, mas não se sabe se eles são tão eficazes na prevenção da doença entérica no pós desmame. A ocorrência da diarreia após o desmame, obviamente, depende de uma multiplicidade de fatores e condições, e estas irão influenciar a eficácia de um composto de Zn em relação ao ZnO. No entanto é necessário investigar formas alternativas de Zn (ou ZnO) que não só tenha maiores biodisponibilidades (levando a excreção fecal reduzida), mas também tenha propriedades promotora de crescimento e melhorar ou prevenir a diarreia.

Mullan et al. (2002) mostraram que leitões alimentados com 100 ppm de Zn proteinado tiveram mesmo ganho de peso do que aqueles alimentados com 1500-2250 ppm de ZnO, mas os que consumiram 250 ppm de Zn proteinado tiveram ganho de peso superior ($P < 0,01$). Em ambos níveis de zinco proteinado houve redução dos níveis de zinco nas fezes comparado com o ZnO ($P < 0,05$). Wu et al. (2001) encontram melhor ganho de peso para os leitões alimentados com 2000 ppm de ZnO do que os que consumiram 200-400 ppm de Zn proteinado. Contudo, os leitões suplementados com ZnO excretaram quatro vezes mais zinco do que os que receberam zinco orgânico.

Mavromichalis et al. (1999) compararam duas fontes de ZnO que diferiam na sua biodisponibilidade relativa (39 versus 93 %) em dietas de leitões recém-desmamados, e relatou não existir grandes diferenças entre as duas fontes em atuar como promotora de crescimento, mas sem demonstrar dados sobre a incidência de diarreia.

O ZnO tem sido adicionado em altos níveis na dieta de leitões (2-3 kg/t) devido ao conhecido efeito farmacológico, promovendo o crescimento e reduzindo a incidência de diarreia bacteriana. Carlson et al (1998) relatou que níveis elevados de ZnO alterou a

morfologia intestinal e aumentou a concentração de metalotioneína, indicando que altas quantidades de zinco podem ter efeito entérico em suínos. Porém, a disponibilidade de ZnO é menor quando comparada com sulfato de zinco ou fonte orgânica, o que é extremamente relevante quando se pensa nos impactos ambientais (CLOSE, 2002).

Hahn e Baker (1993) relataram que a disponibilidade do zinco na forma de óxido corresponde a 46% da disponível para o ZnSO_4 para leitões desmamados. Segundo, o zinco a partir de complexos orgânicos parece ser mais disponível do que os originários de ZnO, e equivalente ao zinco de ZnSO_4 (SCHELL; KORNEGAY, 1996; SWINKELS et al., 1996). Lowe et al. (1994b) mostraram que não houve antagonismo cálcio-zinco quando a fonte de Zn suplementada foi o quelato de zinco, mas o ZnO não foi capaz de superar este antagonismo. O Ca diminui a absorção de Zn (LOWE et al., 1994; WEDEKIND et al., 1994). Ainda, Hahn e Baker (1993) em seus trabalhos observaram que o zinco lisina (Zn-Lis) e o ZnSO_4 não diferiram quanto aos níveis plasmáticos para este mineral, mas em outro teste o zinco-metionina (Zn-Met) e o ZnSO_4 aumentaram os níveis plasmáticos de Zn duas vezes mais do que o mineral na forma óxido. Hill et al. (1986) relataram que o Zn-Met aumentou o consumo alimentar quando comparado ao sulfato de zinco, mas não apresentaram diferença na eficiência alimentar.

Diversos trabalhos foram realizados a fim de comparar fontes orgânicas e inorgânicas de um único mineral, especialmente o Zn (CHENG et al., 1998; REVY et al., 2002; HEUGTEN et al., 2003), Mn (KATS et al., 1994) e Se (MAHAN; KIN, 1996; MAHAN et al., 1999), e não demonstrando diferenças nos parâmetros de desempenho dos animais. Da mesma forma, Creech et al. (2004), ao compararem uma dieta controle com níveis normais de minerais inorgânicos (Zn, Cu, Fe, Mn, Se) e dietas com minerais orgânicos ou quelatados em quantidades reduzidas, não encontraram, diferenças significativas no desempenho dos animais, nas fases de creche e de crescimento. Tais trabalhos diferem do apresentado por Muniz et al. (2010b) que encontraram efeito positivo dos minerais orgânicos sobre o desempenho de leitões. Ainda, vale ressaltar que em muitos trabalhos a dieta controle considerada foi a base de mineral na forma de óxido, que sabidamente possuem menor biodisponibilidade que as fontes orgânicas e sulfatos (PATTON, 1997).

Muniz et al. (2010b) avaliaram o uso das fontes orgânicas de minerais (Cu, Zn, Fe, Mn e Se), comparadas as inorgânicas, nas rações fornecidas dos 24 aos 57 dias de idade de leitões. Os autores encontraram que o suplemento de minerais de fontes orgânicas foi mais eficiente para o desempenho dos leitões na fase de creche com melhora no ganho diário de peso e

conversão alimentar. Burket et al (2006) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de suplementação mineral (Cu, Fe, e Zn) sobre a excreção fecal de minerais e digestibilidade aparente de suínos em fase de crescimento e terminação. Neste experimento, as dietas continham concentração reduzida de Cu, Fe, e Zn orgânico (proteínado) quando comparada com a dieta com minerais inorgânicos. Os autores encontraram maior digestibilidade e menor excreção fecal dos referidos minerais para os animais suplementados com mineral orgânico, sem, contudo, afetar o desempenho dos mesmos.

Mirando et al. (1993) em um experimento delineado para se aproximar da prática alimentar realizada pela indústria suína, alimentou matrizes com uma dieta base para atender as exigências de Zn, Cu e Mn. Já a dieta tratamento teve 25% destes minerais fornecidas na forma quelatadas, enquanto 75% foi oriunda de mineral inorgânico. Neste estudo obteve-se maior número de matrizes prenhas, maior número de fetos vivos e menor mortalidade para os animais alimentados com mineral na forma quelatada quando comparados àqueles alimentados com dieta integralmente inorgânica. Richert et al. (1994) compararam um conjunto de Cu, Mn, Zn na forma quelato versus a forma inorgânica e observaram para o primeiro, melhor ganho de peso para leitões desmamados no período de 0 a 7 dias, porém aos 28 dias o mesmo efeito não foi observado.

Lee et al. (2001) compararam fontes inorgânicas de Zn (ZnSO_4) e cobre (CuSO_4) com fontes orgânicas (Cu e Zn quelato-aminoácido, Cu e Zn complexo aminoácido), em rações de leitões, e não verificaram diferenças significativas no consumo de ração e ganho de peso, no período de 24 e 38 dias de idade; porém, a conversão alimentar apresentou-se melhor nos animais que receberam 120 ppm de zinco e 170 ppm de cobre nas formas de quelatos ou complexos. Segundo Creech et al. (2004), a absorção dos minerais quelatados, Cu, Zn, Fe e Mn, é maior nos animais em fase de creche.

Ward et al. (1996) concluíram que para eficiência alimentar em suínos, o Zn-Met fornecido aos níveis de 250 ppm foi similar quando comparado a forma sulfato do mineral aos 160 ppm ou óxido aos 2000 ppm. Wedekind et al. (1994) alimentaram suínos na fase de crescimento/terminação com diferentes fontes de zinco e observaram que o zinco na forma metionina apresentou resultado similar ao ZnSO_4 .

O zinco metionina é um específico complexo de zinco orgânico aminoácido que difere dos zínco inorgânicos, zínco protéinados e complexos zinco polissacarídeos (AAFCO, 1990). Hill et al., (1986) encontrou que o zinco metionina não difere em disponibilidade comparada com as fontes inorgânicas de zinco.

Geralmente, os minerais quelatados custam mais por unidade de elemento mineral, do que o mesmo metal na forma inorgânica, baseando-se historicamente neste argumento para que não se difundisse sua utilização. Contudo, em algumas situações a forma quelato tem atuação biológica que os inorgânicos não têm (PATTON, 1997). Lowe et al. (1994) relatou que a forma inorgânica não consegue superar o antagonismo com o cálcio, quando este está presente em grandes quantidades na dieta, diferente do mineral na forma quelatada. Spears e Flowers (1995) investigou os efeitos da fonte mineral sobre a reprodução de suínos e observou maior tamanho de leitegada, para aqueles animais alimentados com tratamento com menor nível de fornecimento mineral mas com inclusão parcial destes na forma orgânica, do que os maiores níveis mas com completa suplementação na forma inorgânica.

4.6. Zinco e Imunidade

Apesar das exigências nutricionais estabelecidas pelo NRC (1998) ser definida como os níveis que permitem a manutenção da saúde normal e a produtividade, ainda não está claro se níveis mais elevados são necessários para maximizar a imunidade, especialmente quando os animais são desafiados (CROMWELL, 1993). Conseqüentemente, necessidades exatas de nutrientes para maximizar a imunocompetência ainda precisam ser determinadas (PETERS, 2006).

O sistema imune é constituído por diversas populações celulares que protegem o animal contra bactéria, fungos, parasitas e viroses. Tem sido claramente estabelecido que os elementos minerais (Zn, Fe, Cu, Mn, Se) são importantes para a função imune normal e resistência as doenças (FLETCHER et al., 1988). Além disso, a presença adequada de Zn em altos sistemas biológicos é crucial para o desenvolvimento normal, manutenção e função do sistema imune (DARDENNE; BACH, 1993).

Desenvolvimento anormal dos linfócitos T é a consequência primária de deficiência de Zn (DARDENNE; BACH, 1993). Ainda, a deficiência deste mineral em animais resulta em involução tímica, depleção timócita no timo, depressão da resposta de hipersensibilidade tardia, depressão periférica do número de células T. Danos no timo são mais pronunciados na progênie do que nos genitores que receberam inadequado níveis de Zn (KIDD et al., 1996). Beach et al., (1982) alimentaram ratos com deficiência (5µg de Zn/g) e adequado níveis de Zn (100 µg/g) e avaliaram os efeitos sobre o desenvolvimento dos órgãos linfóides na progênie. Os autores encontraram que a progênie oriunda de genitores que receberam tratamentos com

deficiência de Zn apresentou peso menor para timo e baço em até 60% quando comparado ao grupo controle.

Em trabalhos com aves observou-se melhora na imunidade da progênie com o uso de Zn. Kidd et al. (1992) forneceram zinco-metionina suplementar para aves velhas e observaram melhora na imunidade da progênie, mas as fontes de zinco testadas (zinco metionina e óxido de zinco) não afetaram os parâmetros produtivos de ovos. Ainda, Kidd et al., (1993) encontraram melhora na imunidade da progênie de matrizes jovens suplementadas com zinco metionina. Já Flinchum et al., (1989) observou que a progênie proveniente de aves alimentadas com zinco metionina apresentaram melhor ganho de peso e sobrevivência quando expostas a *E. coli*. Mas em outros trabalhos, não se observou melhora na conversão alimentar e ganho de peso na progênie de matrizes avícolas submetidas a dietas contendo diferentes fontes de Zn (KIDD et al., 1992., 1993).

Níveis inadequados de Zn na dieta de reprodutores resultam em progênie com imunidade celular prejudicada (VRUWINK et al., 1993). O desenvolvimento do timo e a proliferação dos linfócitos T da progênie são afetados mais severamente quando os reprodutores são Zn deficientes (BEACH et al., 1982).

A atrofia tímica induzida pelo Zn pode ser devido a diminuição de zinco metaloenzima necessário para o desenvolvimento do linfócito ou por uma alteração epitelial do timo (DARDENNE; BACH, 1993). O hormônio tímico tiamulina, contudo pode ser responsável pela atrofia tímica, já que sua habilidade para essa função torna-se obsoleta sem a presença de Zn (DARDENNE et al., 1982).

Devido ao envolvimento de microminerais na imunidade, o status destes, também, pode afetar a ocorrência de mastite e outras condições de saúde, como já citado. O Zn pode ser importante para manter a camada de queratina nos canais dos tetos, podendo contribuir para prevenir a infecção (CAPUCO et al., 1992). Embora, os efeitos do status de Zn na prevenção de mastite não serem amplamente investigados em suínos, existem alguns estudos dos efeitos da fonte de Zn. A suplementação com Zn-metionina (KELLOGG, 1990) e Zn-proteinato (HARRIS, 1995) diminuiu a contagem de células somáticas.

4.7. Zinco nas diferentes fases de produção de suínos

Os sais minerais inorgânicos têm sido utilizados amplamente para atender as exigências minerais de suínos. Elevada inclusão de Ca e P, juntamente com microminerais são

comumente recomendadas para linhagens suínas de alta produção. Porém, interações de quelação podem ocorrer entre macro e microminerais no lúmen do trato digestivo, o que pode ser mais pronunciado quanto maiores forem as concentrações de minerais na dieta, podendo afetar a absorção e a função biológica dos minerais (MORRIS; ELLIS, 1980; O'DELL, 1997; AMMERMAN et al., 1998).

Durante as primeiras semanas de vida os suínos são vulneráveis à doenças, apresentam sistema imunológico e epitélio da mucosa do intestino delgado anatomicamente e funcionalmente imaturos (GASKINS; KELLEY, 1995). Assim, o desenvolvimento gastrointestinal pré e pós-natal é importante para a digestão e absorção de nutrientes, a fim de, permitir o crescimento corporal e prevenir a colonização por bactérias no lúmen do intestino, de onde invadem órgãos e tecidos sistêmicos (EGBERTS et al, 1984; NÚÑEZ et al, 1996). Apesar de haver informações consideráveis sobre o efeito da nutrição no desenvolvimento intestinal (PLUSKE, 2001), e incidência de doença entérica (HAMPSON et al., 2001) em suínos desmamados, há uma escassez de informações sobre o impacto da nutrição da matriz suína no desenvolvimento intestinal e função imune do leitão neonatal.

4.7.1. Zinco e Leitão

A predisposição a diarreia na fase inicial pós desmame dos suínos, se dá pela baixa digestibilidade de dietas a base de grãos de cereais (ETHERIDGE et al. 1984). Tal situação ocasiona à “síndrome da má absorção”, que associada às alterações no pH intestinal e ao desequilíbrio no sistema imunológico, favorece o desenvolvimento de agentes infecciosos no intestino delgado de leitões (BERTOL; BRITO, 1995). Tem-se que o período crítico de ocorrência de diarreias da-se do 7º ao 14º dia pós-desmame, e normalmente, estão associadas a cepas patogênicas de *E. coli*, apresentando quadros de colibacilose e ou doença do edema (SIMIONATTO, 2005).

Visto a importância das fases iniciais para o sucesso do lote de suínos em toda a cadeia produtiva, em termos de rentabilidade, diversos produtos têm sido propostos comercialmente com a finalidade de reduzir os impactos negativos gerados ao intestino do animal. Dentre eles destaca-se o emprego do zinco inorgânico (ZnO) que tem sido difundido como melhorador de desempenho, devido ao baixo custo e à eficiência no controle de diarreia pós-desmame (POULSEN, 1995). Segundo o NRC 1998, a exigência nutricional de Zn para leitões é de 80 a 100 ppm. Já os níveis utilizados como melhoradores de desempenho variam de 2000 a 3000 ppm (CASE; CARLSON, 2002; BUFF et al., 2005; GAUDRÉ; QUINIOU, 2009).

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progenie

Porém, essa prática pode acarretar em impacto ambiental decorrente do excesso de minerais depositados no solo advindos dos dejetos animais, uma vez que em trabalho de Pupa et al. (2005) verificou-se que houve variação de até 2900% para zinco na dieta de leitões no sudeste do Brasil. A utilização dos minerais nas formas orgânicas apresenta-se como uma opção na substituição das formas inorgânicas, diminuindo a eliminação no meio ambiente, devido à maior biodisponibilidade (HAHN; BAKER, 1993) e consequentemente, o melhor aproveitamento por parte do animal. Alguns estudos mostram melhor desempenho de leitões com dietas suplementadas com Zn na forma orgânica em relação às fontes inorgânicas, na forma de sulfato (LEE et al., 2001; BUFF et al., 2005).

Freqüentemente, nas primeiras semanas após o desmame, os leitões apresentam menor crescimento e maior incidência de diarreia. Em alguns casos esta pode acarretar em mortalidade dos leitões, mas geralmente causa redução da eficiência alimentar, com conseqüente prejuízo a taxa de crescimento, que dificilmente será recuperada ao longo do tempo, sendo necessário maior tempo para que o animal chegue ao peso de abate, e por fim, gerando prejuízos ao sistema produtivo de suínos (MULLAN et al., 2002).

Vários estudos têm demonstrado que dietas com altas concentrações de zinco (2500-3000 ppm) na primeira e segunda semana após a desmama apresentam efeito positivo sobre as taxas de crescimento e previnem diarreia (POULSEN, 1989, 1995, CARLSON et al., 1999). Holm (1990) relatou que em experimentos comerciais, a taxa de mortalidade reduziu de 2,2% para 0,7% e que a taxa de crescimento aumentou de 281 para 327g quando os leitões receberam uma dieta contendo 3,2 kg de ZnO/t por duas semanas pós desmame. O mecanismo proposto, por melhorar o crescimento através do uso dos níveis farmacológicos de Zn, inclui o aumento da metalotioneína.

Fornecendo-se na ração, Zn farmacológico no nível de 3000 mg/kg por 14 dias, logo após a desmama ocorre melhora da morfologia intestinal devido ao aumento da altura das vilosidades e redução da profundidade das criptas no duodeno e jejuno, aumentando potencialmente a capacidade de absorção do intestino delgado e conseqüentemente, melhorando o crescimento do animal (CARLSON, et al., 1998). O uso de ZnO em níveis farmacológicos é uma alternativa mais econômica do que o uso de antibióticos para o controle de diarreia pós desmame, sendo amplamente usada nas granjas comerciais (MULLAN et al., 2002). A toxicidade de Zn é rara, ocorrendo em dietas com 2kg de ZnO/t e por seis semanas de alimentação (PRITCHARD et al., 1985). Como uma forma de prevenção, quando usado altos níveis do mineral nessa forma, é recomendada que o nível de cálcio seja aumentado.

Porém, altos níveis de cálcio podem reduzir a ação benéfica de doses farmacológicas de Zn e deprimir o desenvolvimento dos leitões, aumentando a ocorrência de diarreia, pois altos níveis de cálcio podem reduzir a digestibilidade dos nutrientes, resultado da elevação do pH e à formação de quelatos com outros nutrientes no intestino (LIMA et al., 2009). Ou seja, o uso de níveis farmacológicos de zinco só é eficiente quando trabalha-se com níveis adequados de cálcio, o que se dá entre 0,8 e 1,1%.

A maioria dos primeiros trabalhos que avaliavam dietas com alta concentração de ZnO centrou-se na hipótese de que a fonte inorgânica do mineral reduzia a mortalidade e diarreia após a desmama, que era atribuída a *E. coli* e que gerava melhora nos ganhos dos suínos (HOLM, 1988, POULSEN, 1989). As subseqüentes pesquisas nos Estados Unidos, com leitões desmamados demonstraram melhora no crescimento dos suínos como resposta as altas concentrações de ZnO na dieta e sem apresentarem diarreia (HAHN; BAKER, 1993; CARLSON et al., 1999; HILL et al., 2000). Devido a isso o ZnO é incluído na maioria das dietas de fase de creche (pós-desmame) em concentrações superiores a 3000 mg de Zn/kg, atuando como promotor de crescimento e como forma preventiva de diarreia. Porém Hill et al. (2001), cita que com a baixa biodisponibilidade de Zn originário do ZnO há muitas perdas desse mineral nas fezes. Com isso, o mesmo autor cita que menores concentrações de Zn (1500-2000 mg Zn/kg) quando fornecidas por curto período de tempo, menor que 28 dias de idade, parecem levar a menor preocupação ambiental do que o uso de altas concentrações de ZnO, reforçando ainda mais a importância da inclusão de fontes orgânicas de zinco na suplementação de suínos.

Complexos orgânicos de Zn têm sido propostos como fontes de maior disponibilidade para aves (WEDEKIND et al., 1992). A utilização de fontes orgânicas de Zn nas dietas de leitões desmamados diminuiu a excreção deste nas fezes, quando comparada as fontes inorgânicas, como o ZnO (LEE et al., 2001, CASE; CARLSON, 2002; CARLSON et al., 2004). De acordo com Ward et al. (1997), a recomendação prática para o uso de minerais orgânicos, como promotores de crescimento na ração inicial de suínos seria de 250 ppm de Zn como Zn-metionina, em substituição ao ZnO. Entretanto, melhoras na disponibilidade de Zn e no crescimento de suínos ainda não tem apresentado dados consistentes (HILL et al., 1986, SWINKELS et al., 1996, CHENG et al., 1998).

Muniz et al. (2010a) encontraram resultados positivos no desempenho dos leitões ao aumento dos níveis de Zn na forma orgânica (carboaminoquelatos) até os 21 dias pós-desmame. Encontraram nas fases de 0 a 35 dias e de 0 a 42 dias pós-desmame que ganho de

peso e o consumo de ração dos leitões que receberam a dieta com 900 ppm de Zn de fonte orgânica não diferiram dos valores observados naqueles que receberam a dieta com 2400 ppm de Zn na forma inorgânica (nível farmacológico). A suplementação da dieta com Zn orgânico (900 ppm) ou inorgânico (2400 ppm) aumentou o consumo de ração e o ganho de peso de leitões nas primeiras três semanas após o desmame. Diferentemente, Hollis et al. (2005) não observaram os mesmos benefícios quando usaram níveis de 150, 300 e 500 ppm de Zn como Zn-metionina nas dietas de leitões desmamados aos 20 dias em um período experimental de 28 dias, encontrando maior ganho de peso e consumo de ração para os animais que receberam Zn inorgânico (ZnO) na dieta, sendo que as fontes orgânicas só foram superiores ao tratamento controle que continha 125 ppm de Zn fornecidos pela suplementação mineral. Já Schell e Kornegay (1996), avaliando diferentes níveis de Zn (1000, 2000 e 3000 ppm) como Zn-metionina, Zn-lisina, ZnO e ZnSO₄ nas rações de leitões desmamados aos 23 dias de idade, verificaram, nas duas primeiras semanas de experimento, menor ganho de peso nos leitões que receberam ZnSO₄ em relação aos que receberam ZnO e Zn metionina. Porém, não encontraram, no período total do experimento (quatro semanas), diferenças no desempenho dos animais. E Lee et al., (2001) verificaram maior ganho de peso em suínos que receberam ração com 120 ppm de Zn-Met em relação ao grupo que consumiram ZnSO₄.

Alguns trabalhos com diferentes fontes de zinco orgânico constataram não haver influência destes sobre o desempenho de leitões em fase de creche (van HEUGHTEN et al., 2003; CARLSON et al., 2004a; PAYNE et al., 2006; CASTILLO et al., 2008; METZLER-ZEBELI et al., 2010).

Evidências sugerem que pode haver uma interação entre a suplementação de Zn e aumento de crescimento de leitões desmamados quando o nível sérico de Zn está acima de 2,5 mg/L (POULSEN, 1995; CARLSON et al., 1999). Contudo no estudo de Metzler-Zebeli et al., 2010 o nível sérico de Zn estava dentro da normalidade 0,5 to 1,5 mg/l (KANEKO, 1989). Adicionalmente, Carlson et al. (2007) propôs que o nível dietético de Zn precisa ser maior que 1000 ppm para causar um aumento de Zn plasmático acima do normal.

Para conversão alimentar de leitões em fase de creche, Muniz et al. (2010a) e Case e Carlson (2002) não encontraram diferença entre os níveis de suplementação e fontes de zinco utilizados.

Para incidência de diarreia Muniz et al. (2010a) encontraram que esta foi menor nos primeiros 15 dias pós desmame para os animais suplementados com ZnO quando comparados áqueles que receberam na dieta o Zn na forma orgânica. O mecanismo que estaria relacionado

ao controle de diarreia, ainda não está bem esclarecido. Segundo Carlson et al. (1999) o efeito benéfico de doses farmacológicas de Zn como ZnO se deve a elevação na concentração de metalotioneína (proteína que regula a absorção dos minerais na mucosa intestinal) e ao aumento na síntese proteica e na proliferação celular, e assim, melhorando a condição intestinal. Outro fator seria a de que o Zn inibiria o transporte ativo de succinato para a célula de *Escherichia coli*, ou atuaria de forma a impedir a atividade do sistema oxidase, e inibindo a atividade da cadeia respiratória da bactéria ou mesmo impedindo a aderência das bactérias na mucosa intestinal (ARANTES et al., 2005; MENIN et al., 2006).

4.7.2. Zinco e Matrizes Suínas

O fornecimento adequado e regular de elementos traços para matrizes gestantes e, conseqüentemente, para seus fetos é fundamental para o desenvolvimento e crescimento adequado, bem como a sobrevivência do leitão no pós-natal (HAMBIDGE et al., 1986).

As reservas minerais de leitões neonatais refletem os níveis dietéticos de Cu, Zn (HILL et al., 1983c), Mn (GAMBLE et al, 1971.) e Se (MAHAN; PETERS, 2004; HOSTETLER; KINCAID, 2004b) fornecidos para matrizes durante a gestação, demonstrando a sua efetiva transferência placentária. Quanto a lactação, tem-se que a absorção de minerais aumenta neste período, em resposta à alta dos nutrientes demandada para a produção de leite. No entanto, quando a ingestão dietética mineral é insuficiente, a matriz mobiliza suas reservas minerais do corpo, particularmente do fígado para atender a demanda. O status mineral da matriz diminui a cada ciclo reprodutivo e isso é exacerbado em níveis mais elevados de produção (MAHAN; NEWTON, 1995).

Peters e Mahan (2008) avaliaram a inclusão de minerais orgânicos (Fe, Se, Cu, Mn e Zn – mineral proteinado) ou inorgânicos (sais) na dieta de marrãs e os efeitos sobre o seu desenvolvimento corporal e reprodutivo por até seis parições. Para crescimento e desempenho de consumo das marrãs não foi observado diferenças entre as fontes estudadas, bem como os níveis (NRC ou praticado pela indústria). Porém, quanto ao desempenho reprodutivo as fontes e os níveis exerceram influência, sobretudo no tamanho da leitegada. Matrizes alimentadas com microminerais orgânicos apresentaram maior número de leitões e maior número de leitões nascidos vivos do que as alimentadas com microminerais inorgânicos. Ainda, as fêmeas alimentadas com minerais orgânicos apresentaram maior peso da ninhada ao nascer, porém os pesos individuais dos leitões foram semelhantes entre as duas fontes estudadas. Também, não houve influência das fontes neste estudo para peso corporal, consumo e

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progenie

intervalo-estro das matrizes. Com relação aos níveis de inclusão, os autores encontraram que os níveis praticados pela indústria, maiores que a recomendação do NRC, propiciam maior número de leitões desmamados e maior peso da leitegada ao desmame. Tais resultados encontrados por Peters e Mahan, (2008) sugerem que as fontes orgânicas de microminerais melhoram o desempenho reprodutivo, mas com efeitos mínimos sobre os parâmetros reprodutivos analisados.

Peters (2007) em seu estudo concluiu que as fontes de microminerais (orgânico ou inorgânico), bem como os níveis (atender ou exceder o NRC), teve pequeno efeito sobre o conteúdo mineral em matrizes e não havendo efeito sobre o conteúdo mineral de leitões recém-nascidos. Ainda, o conteúdo de Cu e Zn no leite e no fígado foi menor quando as matrizes foram alimentadas de acordo com a recomendação do NRC, e o conteúdo corporal total de minerais foi maior para Mn e Zn quando adotado níveis mais elevados de microminerais na dieta.

De acordo com Mirando et al. (1993) a substituição parcial de fontes microminerais inorgânicas de Cu, Mn, e Zn por fontes orgânicas de micromineral resultaram em mais fetos vivos e menor mortalidade embrionária aos 30 dias pós cobertura. Da mesma forma Peters e Mahan (2008) encontraram resultados para maior número de embriões vivos para matrizes alimentadas com microminerais orgânicos. O que indica um aumento de captação ou melhor utilização, ou ambos, de minerais pelo embrião e pelo feto durante o início da gravidez.

Apesar de haver muitos trabalhos sobre os efeitos do zinco na creche e terminação, ainda faltam informações sobre os efeitos das fontes de zinco sobre a matriz suína e sua progênie (PAYNE et al., 2006), havendo poucos trabalhos na literatura com esse enfoque, cita-se: CAINE et al. (2001) que testaram diferentes fontes de zinco na matriz e na progênie, porém somente até 14 dias após a desmama, e o trabalho de PAYNE et al. (2006) que avaliou a progênie até a fase final de creche. Este último trabalho encontrou dados que evidenciam que as matrizes com dietas suplementadas com zinco-aminoácidos são capazes de fornecer melhores condições aos fetos durante o período de principais mudanças no desenvolvimento fetal, resultando em maior número de leitões nascidos e desmamados por ninhada. Hostetler e Kincaid (2004) sugeriram que o zinco é necessário para o desenvolvimento inicial de suporte de proliferação celular e diferenciação dos tecidos para desenvolvimento dos órgãos em fetos de suínos.

Atividade das gonadotrofinas hipofisárias, hormônio folículo estimulante e hormônio luteinizante, também podem ser influenciados pelo status de Zn (ROOT et al., 1979). Zinco

enzimas estão envolvidas na cascata do ácido araquidônico na formação de prostaglandinas (CHANMUGAM et al, 1984;. WAUBEN et al, 1999). Secreção de $\text{PGF}_{2\alpha}$ no lúmen uterino e corpo lúteo é necessária para manter a gestação em suínos (KRAELING et al., 1985). Ainda, não está claro, no entanto, se a concentração de Zn no útero afeta a síntese de prostaglandinas. Concentrações uterinas de IGF-1 são elevadas em porcas gestantes (SIMMEN et al., 1992) e níveis circulantes de IGF-1 declina durante a deficiência de Zn (MACDONALD, 2000), sugerindo um papel potencial na gestação. Diferenciação tecidual e proliferação celular são estimuladas por IGF-1 (ZAPF; FROESCH, 1986) e esta pode estar envolvidos na remodelação do útero no momento da implantação. Além disso, em experimentos in vitro indicam que o Zn aumenta a afinidade de ligação do IGF-1 para receptores de IGF (MCCUSKER et al., 1998).

O acúmulo de Zn no fígado do feto geralmente ocorre durante o último trimestre de gestação, garantindo um armazenamento prontamente disponível para uso durante o período pós-natal, quando o leite geralmente tem baixos níveis em elementos traços, esta é fonte primária de nutrientes para o leitão em aleitamento (RICHARDS, 1999). Matrizes suínas apresentam os níveis mais elevados de macro e micro minerais presentes no leite, quando comparado com outras espécies animais (Tabela 9). Partindo deste pressuposto, a suplementação dietética com níveis farmacológicos com uma fonte orgânica de Zn altamente biodisponíveis para matrizes suínas em gestação, poderia aumentar os níveis de Zn no tecido fetal de suínos. Com base nesta suposição, fetos suínos com um elevado status de Zn sérico e nos tecidos, os predispõem a mostrar mudanças positivas no desenvolvimento para garantir integridade intestinal e função imune durante o período de aleitamento e após desmame (Caine et al., 2009).

Tabela 9. Comparação de concentrações típicas minerais no leite de várias espécies

Mineral	Humano ^{ab}	Suíno ^{cde}	Vaca ^{abfgh}	Cavalo ^{ij}
Ca, mg/l	330	1900	1210	835
P, mg/l	170	1300	960	550
Mg, mg/l	40	110	120	63
Cu, ppm	0,31	1,20	0,12	0,26
Fe, PPM	0,26	2,00	0,30	1,21
Mn, ppm	0,01	0,07	0,04	0,05
Se, PPM	-	0,03	0,07	-
Zn, ppm	2,15	6,12	3,90	2,00

Fonte adaptado: Peters, 2006.; ^aAnderson, 1992; ^bMacy et al., 1953; ^cHill et al., 1983a; ^dCsapo et al., 1996; ^eMahan e Peters, 2004; ^fRenner, 1983. ^gJenness, 1988; ^hSalih et al., 1987; ⁱCsapo-Kiss et al., 1995; ^jSchryver et al., 1986

A suplementação com zinco aminoácido para matrizes suínas foi utilizada no experimento de Metzler-Zebeli et al., (2010) e os autores não encontraram efeito deste

tratamento sobre o consumo alimentar e peso dos animais, o que confirma os achados de Payne et al. (2006) que trabalhou com níveis similares de Zn aminoácido na dieta de porcas em gestação e lactação.

Caine et al. (2009) também não encontraram diferença para consumo entre matrizes alimentadas com complexo zinco-aminoácidos (ZnAA) (370 mg/kg de Zn na dieta na forma ZnO) e as que receberam dieta controle (120 mg/kg de Zn na dieta na forma ZnO) durante a gestação, neste estudos as matrizes tiveram a inclusão das diferentes fontes de Zn apenas no último trimestre da gestação. Neste mesmo estudo, os autores não encontraram influência das diferentes fontes de Zn sobre o comprimento da gestação, peso e espessura de toucinho. Ainda não encontraram diferença para peso da leitegada ao nascimento e ao desmame. Payne et al. (2006) também não observaram efeito da adição de Zn aminoácido sobre a performance das matrizes, mas por outro lado houve aumento no peso da leitegada ao nascer, número de leitões lactantes e desmamados, mas sem diferir no número de leitões nascidos vivos, peso médio ao nascimento ou peso da leitegada ao desmame, quando comparada as matrizes alimentadas com a dieta controle. Ressalta-se que o estudo de Payne et al. (2006) difere do de Caine et al. (2009) pelo fato do primeiro ter suplementado as matrizes com o complexo Zn-aminoácido em toda a gestação.

O fornecimento de complexo Zn aminoácido na dieta de matrizes durante a gestação no trabalho de Caine et al. (2009) não afetou o desempenho dos leitões no período pré-desmame. Resultado que apóia estudos anteriores que relatam não haver efeito sobre o desempenho de crescimento dos leitões quando a suplementação foi de 80 mg/kg Zn-Lisina ou Zn-Met (van HEUGHTEN et al., 2003), 50-800 mg/kg de Zn-proteinato ou Zn-polissacarídeo (CARLSON et al., 2004a) e 100 mg/kg ZnAA (PAYNE et al., 2006). Já outros autores (POULSEN, 1995; CARLSON et al, 1999) relataram aumento do crescimento de leitões desmamados quando as concentrações plasmáticas de Zn atingiu um nível de aproximadamente 2,5 mg/l. A faixa normal é de 0,5-1,5 mg /l para suínos jovens (KANEKO, 1989).

Estudos recentes com adição de Zn na forma orgânica na dieta de matrizes tem como efeito o aumento dos níveis séricos e concentração em tecidos moles de Zn em leitões (CASE; CARLSON, 2002; RINCKER et al., 2005; PAYNE et al., 2006, CAINE et al., 2009).

4.8. Métodos de estimativa de zinco no organismo animal

Segundo Hill e Link (2009), o armazenamento de um mineral no fígado ou osso não indica que este está disponível para o animal e para suas funções metabólicas. Cita ainda, que elementos minerais em órgãos podem indicar absorção, mas não utilização pelo animal e que o uso da atividade enzimática tornou-se a melhor forma de avaliar a disponibilidade metabólica e indicadora de status mineral. O'Dell (1997) forneceu a definição mais apropriada para biodisponibilidade como sendo "a proporção do elemento consumido que é utilizada para uma função bioquímica ou fisiológica."

Então, no fim do século 20 observou-se a listagem de formas inorgânicas pela biodisponibilidade baseada na atividade enzimática, desempenho, balanço nutricional e armazenamento hepático (HILL; LINK, 2009).

Existem alguns métodos in vivo para avaliar a disponibilidade de Zn. A absorção aparente não é uma boa alternativa de análise da disponibilidade deste mineral devido ao fato de o Zn exógeno ser excretado principalmente pelas fezes (BAKER; AMMERMAN, 1995). Alguns pesquisadores sugerem que a concentração sérica do Zn não reflete com precisão a sua absorção (BABCOCK et al., 1982, HAHN; BAKER, 1993). Por outro lado, a concentração óssea é aceita como uma boa medida de análise (BAKER; AMMERMAN, 1995). A concentração tibial em suínos foi aumentada pela suplementação de fitase com *Aspergillus niger* (ASHIDA et al., 1999), reforçando os achados de Lei et al. (1993b) que sugerem que a fitase melhora a disponibilidade de Zn em suínos.

Na determinação da disponibilidade de zinco das fontes minerais a atividade da zinco metaloenzima e os níveis de metalotioneína nos fluídos corporais e tecidos, parecem ser os indicadores mais confiáveis de disponibilidade deste mineral do que as concentrações sanguíneas ou dos tecidos (SWINKELS et al., 1994). A metalotioneína é a maior proteína de armazenamento de Zn e está primariamente concentrada no fígado, mas também é encontrada no rim, pâncreas e intestino (CHESTERS, 1997), e a metalotioneína aumenta com a ingestão de Zn (CARLSON et al., 1999). Dos microminerais, o Zn tem a maior concentração no osso e este é responsivo a ingestão deste mineral (WEDEKIND et al., 1994).

A proteína metalotioneína tem sido apontada como promissora indicadora da deficiência marginal de zinco (CARLSON et al., 2006). E já tem sido usado em diversos estudos em ratos e humanos para estimar deficiência de Zn (SULLIVAN; COUSINS, 1997, ALLAN et al., 2000, SZCZUREK et al., 2001). Tran et al., (1999) e Carlson et al., (1999) sugerem que a

metalotioneína fornece Zn para função, diferenciação, crescimento e reparo das células da mucosa intestinal.

A metalotioneína é uma proteína de baixo peso molecular, aproximadamente 6500 D, com alta capacidade de ligação com metais, 7-10 átomos/mol (BREMNER, 1983). O papel regulatório da metalotioneína intestinal na absorção do zinco, foi primeiro proposto por Richards e Cousins (1975). Maiores concentrações séricas de Zn são normalmente associados com aumento da síntese de metalotioneína na mucosa intestinal (MARTÍNEZ et al, 2004; CARLSON et al, 2007). A metalotioneína é sintetizada em proporção à ingestão de zinco na dieta (COUSINS; LEE-AMBROSE, 1992) e controla a transferência do Zn através da membrana basolateral para a circulação e deposição no fígado (RICHARDS; COUSINS, 1975). Esta proteína reduz a absorção de Zn por meio do sequestro do mineral no interior do enterócito, devido a uma maior afinidade da proteína com o Zn, comparado com outras proteínas intestinais identificadas (STARCHER et al., 1980, MENARD et al., 1981). Carlson et al. (1999) e Martinez et al., (2004), observaram que a concentração de Zn na mucosa e plasma aumentava quando a concentração de metalotioneína aumentava na mucosa intestinal.

Consequentemente, o efeito positivo de uma dieta com Zn após a desmama pode ter um efeito secundário sobre a melhora no crescimento da mucosa e função celular devido a maior contenção de Zn nas células intestinais pela metalotioneína podendo reduzir a sensibilidade para diarreia induzida por bactéria. (CARLSON, 2004).

De maneira geral, as medições de profundidade e altura de vilosidade e criptas fornecem uma boa indicação da maturidade e capacidade funcional dos enterócitos (HAMPSON, 1986). A altura das vilosidades no jejuno de leitões desmamados, oriundos de matrizes suplementadas com Zn orgânico, apresentou tendência de ser maior do que os de matrizes alimentadas com a dieta controle (CAINE et al., 2009). Considerando o papel do Zn na produção de RNA-DNA, esses aumentos podem ser explicados por um aumento na proliferação celular e síntese protéica promovida pela suplementação de Zn (TAKO et al., 2005). Recentemente, Carlson et al. (2004b) e Liet al. (2006) sugeriram que a suplementação de Zn na dieta exerce efeito benéfico sobre a morfologia intestinal através do aumento na expressão de IGF-I na mucosa do intestino delgado, o que resulta em um maior crescimento desta, bem como o aumento na atividade da borda em escova e absorção de nutrientes.

Alterações na morfologia intestinal de leitões 24 h após o desmame, que incluem a atrofia das vilosidades e hiperplasia das criptas são bem documentadas (HAMPSON, 1986; HEDEMANNET al., 2003), e estas mudanças morfológicas são mais proeminentes quando o

desmame ocorre mais precocemente (PLUSKE et al., 1997). No estudo de Caine et al. (2009), nenhum estresse do desmame, que poderia ter induzido mudanças na morfologia intestinal dos leitões recém desmamados, foram melhorados com as fontes suplementares de Zn orgânico para matrizes em gestação ou leitões na creche.

4.9. Fontes de Zinco e Fitase

O crescimento e o desenvolvimento da moderna produção comercial de aves e suínos estão sendo restritos em alguns países e serão restringidos em outros se soluções para o problema de deposição de esterco não for desenvolvido e implementado. Devido ao alto conteúdo de nutrientes presentes nos dejetos (alto poder fertilizante), a aplicação do mesmo no solo tem sido a atitude mais aplicada. Contudo, a quantidade a ser aplicada no solo é limitada devido ao acúmulo de nutrientes. Assim, o impacto ambiental da contaminação pelos nutrientes as águas de superfície e lençóis freáticos tem sido a maior questão a ser respondida pelos produtores animais (KORNEGAY, 1996).

A suplementação dietética com fitase em dietas baseadas em farelo de soja aumentam a utilização de elementos minerais em dietas de leitões desmamados (LEI et al., 1993; KIRCHGESSNER et al., 1994; ADEOLA et al., 1995) e para suínos em crescimento e terminação (PETER et al., 2001; MASUDA et al., 2002). Além da suplementação de fitase com a finalidade de evitar a complexação do fitato com elementos minerais, indisponibilizando-os para o animal, alguns pesquisadores tem focado seus estudos no desenvolvimento de grãos com baixo ácido fítico (LARSON et al., 1998; RABOY et al., 2001; DORSCH et al., 2003), criando uma forma potencial de aumentar a utilização mineral e a redução da excreção dos minerais por animais não ruminantes (VEUM et al., 2002, 2007, 2009; LINARES et al., 2007).

De acordo com Bertechini (1997), as deficiências de Zn podem ocorrer devido a uma deficiência na dieta, propriamente dita, ou pelo excesso de ácido fítico ou de cálcio, e/ou fósforo na dieta. Dietas ricas em ácido fítico causam complexação deste com o zinco formando quelatos insolúveis e impedindo o aproveitamento do elemento. Desta forma há necessidade de se elevar os níveis de Zn da dieta para evitar tal deficiência causada pelas grandes perdas nas fezes.

Diante da importância do Zn para o bom desenvolvimento dos animais, encontrar formas que o utilize de forma satisfatória, faz-se necessário. Assim, Lei et al. (1993a)

encontraram que quando suplementado fitase à dieta de leitões desmamados havia melhora na utilização de Zn e, ainda, que este mineral nos níveis farmacológicos aumentava o desempenho e reduzia a incidência de diarreia na fase de creche (pós-desmame) (POULSEN, 1989). Assim, como já citado, esta é uma prática comum na indústria suinícola incluir altos níveis de ZnO nesta fase a fim de melhorar o desempenho nesta etapa crítica de produção.

A eficácia da fitase microbiana sobre a disponibilidade de Zn em suínos tem sido estudada, e Lei et al. (1993b) demonstraram que a fitase com *Aspergillus niger* aumentou as concentrações plasmáticas de Zn. Outros autores também constataram altos níveis deste mineral por meio de suplementação de fitase microbiana (LEI et al., 1993a, 1993c, PALLAUF et al., 1992, 1994).

Adeola et al., (1995) observou melhora na absorção aparente de Zn por meio da suplementação de fitase na dieta de suínos. Contudo, este efeito do uso da fitase sobre a disponibilidade de Zn é controverso. Murry et al., (1997) encontraram que os níveis séricos de Zn não foram significantes com o uso de fitase na dieta de suínos. Além disso, não foram afetadas a absorção aparente e nem houve retenção de Zn devido à suplementação de fitase com *Aspergillus niger* para suínos (NASI; HELANDER, 1994, NASI et al., 1995).

Além do uso da fitase, a disponibilidade de Zn pode ser influenciada pelas fontes utilizadas. Wapnir e Stiel (1986) sugeriram que alguns aminoácidos formam complexos com o Zn, estimulando a sua absorção em ratos. Susaki et al., 1999 verificaram que aminoácidos quelatados com Zn apresentavam maior disponibilidade para suínos. Kirchgessner e Hartel (1977), encontraram maior biodisponibilidade no complexo zinco aminoácido e menor nos sais de Zn inorgânicos e Hill et al. (1986), melhor produtividade em suínos suplementados com Zn orgânico do que inorgânico, ao passo que Wedekind et al. (1994) não observaram nenhuma diferença significativa. O estudo de Rupic et al. (1997), confirmou que o complexo zinco-aminoácido aumenta a produtividade dos suínos na fase de terminação. Fontes orgânicas de zinco, como zinco-metionina ou zincopropionato, apresentaram-se mais biodisponíveis do que as fontes inorgânicas como o óxido de zinco ou ZnSO_4 (SPEARS, 1989, WEDEKIND et al., 1992, HAHN; BAKER, 1993).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Experimento I - Avaliação das matrizes

5.1.1. Local e Instalações

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Suínos, do Departamento de Nutrição e Produção Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (LPS – VNP/FMVZ) da Universidade de São Paulo, campus de Pirassununga.

O município de Pirassununga localiza-se no centro leste do estado de São Paulo, apresenta uma latitude 21°49'56" sul e a uma longitude 47°25'33" oeste, estando a uma altitude de 627 metros. O clima é subtropical úmido com temperatura anual de 23°C e umidade de 73%.

As fêmeas foram alojadas na unidade de Gestação, em gaiolas individualizadas com oferecimento das dietas através de sistema automático graduado, a fim de tornar acuradas as medidas de consumo pelas fêmeas (Figura 2). A gestação possui bebedouros do tipo chupeta. As fêmeas permaneceram nas gaiolas de gestação tanto no período pré-pubere como nos pós-pubere, momento da primeira inseminação e gestação até aproximadamente 110 dias quando foram transferidas para células parideiras do galpão de maternidade.

Figura 2 – Fêmeas na Unidade de Gestação do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)

Aos 106 a 110 dias de gestação as fêmeas foram transferidas das gaiolas de gestação para as células parideiras da Maternidade, nessa ocasião, foram pesadas e realizou-se o exame ultrassonográfico para estimar a espessura de toucinho. Ainda, todas as fêmeas foram lavadas

com solução degermante, com a finalidade de garantir à maternidade um ambiente adequado para o nascimento dos leitões (Figura 3).

Figura 3. Tranferência das fêmeas da Unidade de Gestação para as células parideiras das salas de Maternidade do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)

A unidade de Maternidade é constituída de 24 gaiolas de parição, distribuídas em três salas com oito células parideiras cada. Nesta instalação os bebedouros são do tipo chupeta e as grades de parição providas de aquecimento específico (escamoteadores) para os leitões (Figura 4).

Figura 4. Fêmeas na Unidade de Maternidade do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)

5.1.2. Animais e Preparação

Iniciou-se o estudo com 30 fêmeas pré-puberes de linhagem comercial híbrida – Camborough 25 (Agrocere PIC), provenientes da Fazenda Paraíso em Patos de Minas-MG.

Os animais foram alojados na granja do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS), do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) em Pirassununga (Figura 5).

Figura 5. Chegada das marrãs a Granja Experimental LPS

Após a recepção dos animais realizou-se a pesagem dos animais, cuja média foi de $91,980 \pm 5,240$ kg e idade média de 150 dias, parâmetros estes considerados ideais pela literatura para a indução ao estro (Beltranena¹, 1992, apud PATTERSON, 2001, p.02).

No dia seguinte à recepção, todas fêmeas foram submetidas ao tratamento hormonal que se constituiu da aplicação de 600 UI de eCG – equivalente a 2,5ml de eCG – (Novormon 5000[®], Syntex S.A.), e após 72 horas a aplicação de 2,5 ml de LH porcino (Lutropin-V[®], Vetrepharm Canada Inc.), ambos por via intramuscular profunda na tábua do pescoço (Figura 6), acrescido do passeio de machos reprodutores, duas vezes ao dia, 15 minutos/cada.

¹ BELTRANENA, E. Nutrition and reproductive development in gilts. Ph.D. Thesis. University of Alberta, Canada. p. 22-140.

Figura 6. Aplicação de eCG nas marrãs

O tratamento hormonal teve a finalidade de induzir a puberdade e sincronizar o primeiro estro. O protocolo utilizado foi descrito e mostrou-se eficiente em diversos estudos como os de Pinese (2006), Eckhardt (2009) e Horta (2009), conseguindo-se um percentual cumulativo de estros após aplicação hormonal de 85% até o segundo dia após a aplicação do LH, neste estudo obteve-se 80%. Resultado esse previsto no intuito de homogeneizar o material experimental, tanto considerando os dados de desempenho como os da esfera reprodutiva (Figura 7).

Figura 7. Porcentagem de marrãs em cio após tratamento hormonal

A continuidade da indução e diagnóstico dos estros subsequentes foi feita através do passeio do macho, duas vezes ao dia e por, no mínimo, quinze minutos. Os diagnósticos de estro foram feitos com base no exame clínico-comportamental para estímulo e diagnóstico de estro através do reflexo de tolerância ao macho e ao homem.

Desde o momento da chegada das marrãs à granja, a ciclicidade das fêmeas foi acompanhada (Figura 8), com o registro das manifestações comportamentais dos estros diagnosticados e duração dos ciclos. Paralelo aos diagnósticos de cio foi feito o acompanhamento de peso e espessura de toucinho (ET) das fêmeas para que as mesmas pudessem ser inseminadas no cio em que apresentassem o peso ideal da linhagem para cobertura, que é de 135 kg, sendo que esse foi obtido ao quinto estro diagnosticado no estudo.

Figura 8. Acompanhamento da ciclicidade do estro apresentado pelas marrãs

As fêmeas foram cobertas no 5º cio e com peso médio de $136,934 \pm 6,627$ kg e ET de $11,617 \pm 1,696$ mm, o ideal seria de 12 a 18 mm, logo as fêmeas haviam atingido o peso e estavam próximas da espessura de toucinho ideal. A espessura de toucinho na região da décima costela foi acompanhada em todas as pesagens, através do exame ultrassonográfico (Figura 9).

Figura 9. Exame ultrassonográfico para estimar a espessura de toucinho

As 30 fêmeas apresentaram no quinto cio percentual cumulativo de estros de 93,3%, num período total de 17 dias (28 fêmeas das 30 iniciais). As fêmeas foram inseminadas

artificialmente com três doses de sêmen ou mais, em intervalos de 12 horas (0, 12, 24, 36, 48 e 60h) utilizando doses inseminantes de três bilhões de espermatozoides (Figura 10). O diagnóstico de gestação foi confirmado através de exame ultrassonográfico aos 35 dias de gestação. Após a inseminação, foram confirmadas, 28 fêmeas prenhes (percentual de concepção de 100%). Porém, para fins experimentais foram utilizadas apenas 24 fêmeas prenhes.

Figura 10. Inseminação das marrãs

A medida que eram inseminadas, as mesmas eram escolhidas aleatoriamente para compor dado tratamento, iniciando-se a alimentação das fêmeas com tratamento no arraçãoamento logo após a inseminação.

5.1.3. Alimentação

Desde a chegada das fêmeas a granja, as fêmeas foram adaptadas à alimentação controlada dividida em dois tratos, metade pela manhã (07h00min) e metade à tarde (15h00min). Desde a recepção até o quarto estro, as fêmeas receberam 2,5 quilos de ração de reposição igual para todas marrãs. No quarto ciclo estral houve um período de 5 dias de restrição alimentar com 1,8 kg durante os 5 primeiros dias do ciclo, aumentando-se em seguida, a quantidade para 3,3 kg da dieta de reposição caracterizando assim o “flushing alimentar”.

As dietas para gestação e lactação foram formuladas basicamente com milho, soja e núcleo vitamínico mineral para atender as exigências dos animais (NRC, 1998). Porém, para compor os tratamentos, o núcleo era ausente de zinco, visto que o mesmo era adicionado no momento das batidas de ração com a inclusão das diferentes fontes (zinco glicina, zinco metionina e óxido de zinco) para que fosse atendida a exigência de 100 ppm.

A tabela 10 apresenta a dieta de reposição.

Tabela 10. Composição da dieta de reposição das marrãs

Ingredientes	Ração de Reposição de Marrãs
Milho	74,40
Farelo de Soja	22,6
Núcleo de Reposição ¹	3,00
Total	100
Níveis Nutricionais	
EM, kcal/kg	3.233
PB (%)	16,40
Fibra Bruta (%)	2,64
Cinzas (%)	5,16
Cálcio (%)	0,89
Fósforo Total	0,51
Lisina digestível (%)	0,73
Metionina digestível (%)	0,25
Met+Cis dig (%)	0,50
Treonina digestível (%)	0,53
Triptofano digestível (%)	0,15
Zn (mg/kg)	140

¹ **Núcleo Suínos Reposição** fornece (por kg de produto): ác. fólico 48,5 mg; ác. pantotênico 350 mg; Biotina 35,5 mg; cálcio 165 g; cobalto 8 mg; cobre 2500 mg; colina 17 g; ferro 625 mg; fitase 12000 ftu; fósforo 48 g; flúor 500 mg; iodo 35 mg; lisina 8.000 mg; manganês 1.110 mg; niacina 525 mg; selênio 12 mg; sódio 48 g; vit. A 405.000 UI; vit. B1 54 mg; vit. B12 675mcg; vit. B2 126 mg; vit. B6 54 mg; vit. D3 100.000 UI; vit. E 890 UI; vit. K 89 mg; zinco 7.500 mg.

Após a inseminação artificial no quinto estro, foi oferecida a dieta de gestação dos seus respectivos tratamentos (zinco glicina, zinca metionina e óxido de zinco) na quantidade de 1,5 kg até o 7º dia pós-inseminação, e passaram a receber 2,0 kg até 80 dias de gestação e posteriormente 3,3 kg até serem transferidas para o galpão de maternidade (Tabela 11). Durante todo o período de gestação, as sobras de ração foram pesadas para estimar o consumo efetivo de ração por animal.

Tabela 11. Composição da dieta de gestação

Ingredientes	Ração de Gestação
Milho	76,00
Farelo de Soja (46%)	20,00
Núcleo de Lactação	4,00
Total	100
Níveis Nutricionais	
EM, kcal/kg	3.198
PB (%)	14,69
Fibra Bruta (%)	2,98
Cinzas (%)	5,53
Cálcio (%)	0,78
Fósforo Total	0,53
Fitase (FTU/g)	0,50
Lisina digestível (%)	0,65
Metionina digestível (%)	0,35
Met+Cis dig (%)	0,59
Treonina digestível (%)	0,50
Triptofano digestível (%)	0,13
Valina digestível (%)	0,66
Leucina digestível (%)	1,34
Isoleucina digestível (%)	0,60
Ác. Linoleico	1,59
Sódio (%)	0,23
Potássio (%)	0,69
Zn (mg/kg) ²	100

¹**Núcleo Suínos Gestação** fornece (por kg de produto) : ác. fólico 36 mg; ác. pantotênico 325 mg; biotina 25 mg; cálcio 170 g; cobalto 4 mg; cobre 2500 mg; colina 12 g; ferro 625 mg; fitase 12.500 ftu; fósforo 50 g; flúor 500 mg; iodo 35 mg; manganês 1000 mg; metionina 26,5 g; niacina 487,5 mg; selênio 11,16 mg; sódio 50 g; vit. A 375.000 UI; vit. B1 50 mg; vit. B12 620 mcg; vit. B2 96 mg; vit. B6 50 mg; vit. D3 93.750 UI; vit. E 825 UI; vit. K3 82,5 mg; ²**Zinco**: 100 ppm de Zinco fornecido pelas diferentes fontes de Zinco: glicina, metionina e óxido.

Três dias que antecederam a data provável do parto, os animais foram alimentados com 1,5 kg/dia de ração acrescido de 0,5 kg/dia de farelo de trigo. No dia do parto não foi fornecida ração. A partir do dia do parto, iniciou-se o oferecimento de ração de lactação (Tabela 12), sendo que no 1º, 2º, 3º e 4º dias os animais foram arraçoados com 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 kg/dia, respectivamente. Do 5º dia de lactação até o desmame, foi fornecida ração no regime *ad libitum*. As sobras de ração foram pesadas para estimar o consumo individual de ração durante a lactação.

Tabela 12. Composição da dieta de Lactação

Ingredientes	Ração de Lactação
Milho	60,00
Farelo de Soja (46%)	28,40
Açúcar	4,00
Óleo de Soja	3,60
Núcleo de Lactação	4,00
Total	100
Níveis Nutricionais	
EM, kcal/kg	3.381
PB (%)	18,14
Fibra Bruta (%)	3,08
Cinzas (%)	5,74
Cálcio (%)	0,78
Fósforo Total	0,53
Lisina digestível (%)	1,00
Metionina digestível (%)	0,39
Met+Cis dig (%)	0,66
Treonina digestível (%)	0,72
Triptofano digestível (%)	0,18
Valina digestível (%)	0,77
Leucina digestível (%)	1,47
Isoleucina digestível (%)	0,74
Ác. Linoleico	3,22
Sódio (%)	0,21
Potássio (%)	0,84
Zn (mg/kg) ²	100

¹**Núcleo suínos Lactação** fornece (por kg de produto) : Ác. Fólico (mín) 36,00 mg; Ác. Pantotênico (mín) 325 mg; Biotina 12,5 mg; Cálcio (max) 175,00 (mín) 160,00g; Cobalto (mín) 4,00 mg; Cobre (mín) 2.500,00 mg; Colina (mín) 12,00 g; Ferro (mín) 625,00 mg; Fitase (mín) 12.500,00 ftu; Fósforo (mín) 45,00; Flúor (max) 450,00 mg; Iodo (mín) 35,00 mg; Lisina ((mín) 36,00 g; Manganês (mín) 1.000,00 mg; Metionina (mín) 25,00; Niacina (mín) 487,50 mg; Selênio (mín) 11,16 mg; Sódio (mín) 45,00g; Treonina (mín) 29,50 g; Vit. A (mín) 375.000,00 UI; Vit. B1 (mín) 50,00 mg; Vit. B12 (mín) 620,00 mcg; Vit. B2 (mín) 96,00 mg; Vit. B6 (mín) 50,00 mg; Vit. D3 (mín) 93,750 UI; Vit. E (mín) 825,00 UI; Vit. K (mín) 82,50 mg; ²**Zinco:** 100 ppm de Zinco fornecido pelas diferentes fontes de Zinco: glicina, metionina e óxido.

5.1.4. Peso e Espessura de Toucinho

As pesagens das fêmeas foram realizadas para monitorar a idade ideal para cobertura como já descrito. Depois de inseminada e constatada a gestação positiva, o monitoramento do peso e da espessura de toucinho foi feito periodicamente. Assim, as pesagens e ET foram realizadas: a cobertura, aos 47, aos 65 e aos 106 dias de gestação.

Na sequência do período experimental, com as fêmeas na maternidade, as pesagens e ET ocorreram no dia seguinte ao parto e aos 21 dias de lactação (momento do desmame).

5.1.5. Colheita de Sangue e Avaliação de Parâmetros Sanguíneos

As colheitas de sangue ocorreram 15 dias antes da inseminação e nos dias das pesagens na gestação (47, 65 e 106 dias de gestação), bem como, aos 21 dias de lactação.

A contenção dos animais para a colheita de sangue foi conduzida com o auxílio de cachimbo e através de punção da veia jugular com seringa de 20 ml e agulha 1,2 x 40mm, sendo coletado um total de 20 ml de sangue (Figura 11), os quais foram imediatamente transferidos para tubos sem anticoagulantes e acondicionados em isopor com gelo. Imediatamente após o término da colheita o material foi centrifugado a 3000 rpm por 15 minutos para separação do soro e divisão do mesmo em 4 alíquotas de 2,0 ml cada. Após identificação com número do animal e data da colheita, as amostras foram armazenadas em caixas específicas e congeladas em freezer a -20°C para posterior análise de zinco no soro.

Figura 11. Colheita de sangue das matrizes

5.1.6. Colostro e Leite

Foram colhidas amostras de colostro (no dia do parto) e leite aos 21 dias de lactação em tubos estéreis para a verificação dos níveis de zinco. Ambos foram colhidos de todas as glândulas funcionais (aproximadamente 30 ml). Para a coleta de leite aos 21 dias de lactação foi necessária a injeção intravenosa de 1 ml de ocitocina (Figura 12). As amostras de colostro e leite foram armazenadas a -4°C para posterior análise de zinco.

Figura 12. Injeção intravenosa de ocitocina para coleta de leite aos 21 dias de lactação

5.1.7. Procedimento Analítico

O zinco no soro, no colostro e no leite foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1996).

5.1.8. Obtenção dos Leitões

Todos os partos foram induzidos com a aplicação 24h antes da data prevista de prostaglandina (PGF-2 α) para completar-se os 114 dias de gestação, a fim de evitar-se a ocorrência de natimortos por falta de assistência. Todos os partos foram acompanhados e após o parto foi registrado o tamanho da leitegada, anotando-se o total de leitões nascidos, nascidos vivos, natimortos e mumificados. Após todos os leitões ingerirem o colostro, foram devidamente identificados através de brincos (Figura 13).

Figura 13. Parto assistido e leitões identificados por brincos

Foi feita a equalização das leitegadas, para homogeneização de fêmeas e leitões nos tratamentos. Os leitões foram pesados individualmente ao nascimento e ao desmame, e o ganho de peso foi considerado neste intervalo. Com aproximadamente três dias de idade foi feito o desbaste dos dentes, o corte de cauda e aplicação de ferro dextrano nos leitões. Ressalta-se que na maternidade, os leitões machos não foram castrados cirurgicamente, visto que seriam imunocastrados na fase de crescimento/terminação.

Ainda, os leitões foram vacinados aos 15 dias para *Lawsonia intracellularis*, 21 dias para Pneumonia Enzoótica (2ml/intramuscular) e Circovirose (1ml/intramuscular), todas vacinas aplicadas em dose única.

5.1.9. Análises Estatísticas

Os dados coletados durante a gestação e lactação foram analisados pelo GLM do SAS, com delineamento inteiramente casualizado. Cada fêmea foi considerada a unidade experimental. O teste de médias foi feito pelo teste de Tukey 5% e a homogeneidade das variâncias pelo teste T 5%.

5.2. Experimento II - Dieta materna associada a melhor fonte de zinco fornecida aos leitões

5.2.1. Animais

Os leitões nascidos no experimento I foram utilizados para compor o experimento II, a fim de associar a dieta materna a dieta dos leitões e saber se tal associação poderia acarretar em melhorias no desempenho zootécnico, na imunidade, na integridade intestinal e na formação óssea dos leitões.

Para tanto foram utilizados 180 leitões, desmamados com aproximadamente 21 dias de idade, com peso médio $6,174 \pm 0,749$ kg. Foram distribuídos em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 3 (3 dietas maternas – alimentadas com óxido de Zn, Zn-Met, Zn-Gli x 3 dietas da progênie-contendo óxido de Zn, Zn-Met e Zn-Gli) totalizando 9 tratamentos e 5 repetições de 4 animais cada.

5.2.2. Instalação

Os leitões foram alojados na unidade de creche Laboratório de Pesquisa em Suínos – LPS, do Departamento de Nutrição e Produção Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, Pirassununga/SP.

A creche é constituída de três salas com 16 gaiolas suspensas cada. Cada gaiola tem capacidade para alojar quatro animais e possui um comedouro semi-automático e um bebedouro tipo chupeta (Figura 14).

O aquecimento do galpão foi a gás nas primeiras duas semanas de alojamento com a finalidade de garantir o conforto térmico dos animais. A observação da temperatura deu-se através de termômetros de máxima e mínima existentes em cada sala.

Figura 14. Leitões do Experimento II alocados na creche do Laboratório de Pesquisa em Suínos (LPS)

5.2.3. Alimentação

A distribuição dos leitões nos tratamentos foi feito com base no peso ao desmame (homogeneidade experimental) e no tratamento recebido pelas mães, compondo da seguinte forma os tratamentos:

- Dieta Materna e dos leitões com Óxido de zinco;
- Dieta Materna com Óxido de zinco e dos leitões com Zinco metionina;
- Dieta Materna com Óxido de zinco e dos leitões com Zinco glicina;
- Dieta Materna com Zinco metionina e dos leitões com Óxido de zinco;

- Dieta Materna e dos leitões com Zinco metionina;
- Dieta Materna com Zinco metionina e dos leitões com Zinco glicina;
- Dieta Materna com Zinco glicina e dos leitões com Óxido de zinco;
- Dieta Materna com Zinco glicina e dos leitões com Zinco metionina;
- Dieta Materna e dos leitões com Zinco glicina.

Ainda, o experimento foi dividido em três fases que corresponderam ao tempo de fornecimento das dietas (Tabela 13):

- Fase I - 21 a 35 dias – dieta pré inicial;
- Fase II - 36 a 49 dias – dieta inicial 1;
- Fase III - 50 a 70 dias – dieta inicial 2.

A água e a alimentação foram fornecidas *ad libitum*.

Tabela 13. Composição de Rações dos Leitões do Experimento II

Ingredientes	Ração Pré Inicial	Ração Inicial 1	Ração Inicial 2
Milho	36,8	47,8	59,2
Farelo de Soja (46%)	20,5	25,0	35,0
Núcleo Pré Inicial ¹	40,0	0	0
Núcleo Inicial 1 ²	0	25,0	0
Núcleo Inicial 2 ³	0	0	2,5
Energipig ⁴	2,5	2,0	0,3
Flavofix ⁵	0,2	0,2	3,0
Total	100	100	100
Níveis Nutricionais			
EM, kcal/kg	3.411	3.368	3.275
PB (%)	20,84	20,07	21,42
Fibra Bruta (%)	2,39	2,66	3,40
Cinzas (%)	5,40	5,18	5,92
Cálcio (%)	0,72	0,61	0,82
Fósforo Total	0,54	0,56	0,57
Lisina digestível (%)	1,34	1,27	1,05
Lactose Total (%)	10,00	5,00	0
Zn (mg/kg) ⁶	100	100	100

¹**Núcleo Pré Inicial** (por kg do produto): Ác. Fólico (mín) 2,25 mg; Ác. Fumárico (mín) 20,00 g Ác. Pantotênico (mín) 78,00 mg; Biotina (mín) 1,13 mg; Cálcio (máx) 16,00 (mín) 15,50 g; Cobalto (mín) 0,20 mg; Cobre (mín) 500,00 mg; Colina (mín) 2.900,00 mg; Extrato Etéreo (mín) 20,00 g; Ferro (mín) 225,00 mg; Fibra Bruta (máx) 30,00 g; Fitase (mín) 1.250,00 ftu; Fósforo (mín) 8.000,00 mg; Iodo (mín) 2,00 mg; Lisina (mín) 18,00 g; Manganês (mín) 75,00 mg; Matéria Mineral (máx) 130,00 g; Metionina (mín) 7.000,00 mg; Niacina (mín) 112,00 mg; Proteína Bruta (mín) 180,00 g; Selênio (mín) 1,35 mg; Sódio (mín) 7.500,00 mg; Sulfato de Colistina 100,00 mg; Treonina (mín) 10,20 g; Triptofano (mín) 2.300,00 mg; Umidade (máx) 130,00 g; Valina (mín) 9.000,00 mg; Vit. A (mín) 30.000,00 UI; Vit. B1 (mín) 11,00 mg; Vit. B12 (mín) 112,00 mcg; Vit. B2 (mín) 22,00 mg; Vit. B6 (mín) 13,00 mg; Vit. D3 (mín) 8.000,00 UI; Vit. E (mín) 335,00 UI; Vit. K (mín) 25,00 mg. ²**Núcleo Inicial 1** (por kg do produto): Ác. Fólico (mín) 3,00 mg; Ác. Fumárico (mín) 24,00 g; Ác. Pantotênico (mín) 100,00 mg; Biotina (mín) 1,23 mg; Cálcio (máx) 23,50 (mín) 20,00 g; Cobre (mín) 800,00

mg; Colina (mín) 3.600,00 mg; Extrato Etéreo (mín) 20,00 g; Ferro (mín) 360,00 mg; Fibra Bruta (máx) 30,00 g; Fitase (mín) 2.000 ftu; Fósforo (mín) 15,20 g; Iodo (mín) 3,00 mg; Lisina (mín) 20,50 g; Manganês (mín) 120,00 mg; Matéria Mineral (máx) 150,00 g; Metionina (mín) 9.000,00 mg; Niacina (mín) 150,00 mg; Proteína Bruta (mín) 140,00 g; Selênio (mín) 2,00 mg; Sódio (mín) 8.800,00 mg; Sulfato de Colistina 160,00 mg; Treonina (mín) 10,70 g; Triptofano (mín) 2.200,00 mg; Umidade (máx) 130,00 g; Valina (mín) 7.000,00 mg; Vit. A (mín) 40.000,00 UI; Vit. B1 (mín) 12,00 mg; Vit. B12 (mín) 150,00 mcg; Vit. B2 (mín) 38,20 mg; Vit. B6 (mín) 20,00 mg; Vit. D3 (mín) 10.000,00 UI; Vit. E (mín) 150,00 UI; Vit. K3 (mín) 20,00 mg. ³**Núcleo Inicial 1** (por kg de produto): Ác. Fólico (mín) 12,00 mg; Ác. pantotênico (mín) 320,00 mg; Biotina (mín) 2,00 mg; Cálcio (máx) 135,00 g (mín) 113,50 g; cobre (mín) 2.500,00 mg; Colina (mín) 4.000,00 mg; Fósforo (mín) 39,00 g; Fitase (mín) 10.000,00 ftu; Iodo (mín) 20,00 mg; Lisina (mín) 34,00 g; Manganês (mín) 1.400,00 mg; Metionina (mín) 12,00 g; Niacina (mín) 600,00 mg; Selênio (mín) 6,00 mg; sódio (mín) 35,60 g; Sulfato de colistina 800,00 mg; Treonina (mín) 17,00 g; Vit. A 240.000,00 UI; Vit. B1 (mín) 40,00 mg; Vit. B12 (mín) 400,00 mcg; Vit. B2(mín) 120,00 mg; Vit. B6 (mín) 60,00 mg; Vit. D3 (mín) 40.000,00 UI; Vit. E (mín) 900,00 UI; Vit. K (mín) 60,00 mg. ⁴**Energipig**: Beta-mananase (mín) 2.003,400 u/kg; Cálcio (máx) 5.000,00 mg/kg; Cálcio (mín) 2.000,00 mg/kg; Extrato Etéreo (mín) 150,00 g/kg; Fibra Bruta (máx) 60,00 g/kg; Fósforo (mín) 3.000,00 mg/kg; Lisina (mín) 8.400,00 mg/kg; Matéria Mineral (máx) 50,00 g/kg; Metionina (mín) 2.500,00 mg/kg; Proteína Bruta (mín) 150,00 g/kg; Umidade (máx) 120,00 g/kg; ⁵**Flavofix**: Neoesperidina (mín.) 1.200,00 mg/kg; Sacarina sodica (mín.) 58,20 g/kg; Aroma de Baunilha (mín.) 25,00 g/kg. ⁶**Zinco**: 100 ppm de Zinco fornecido pelas diferentes fontes de Zinco: glicina, metionina e óxido.

5.2.4. Características avaliadas

Para mensurar o desempenho zootécnico dos animais, foram realizadas quatro pesagens e ocorreram aos 21, 35, 49 e aos 70 dias, que correspondem os períodos compreendidos nas fases:

- I - 21 a 35 dias – dieta pré inicial;
- II - 36 a 49 dias – dieta inicial 1;
- III - 50 a 70 dias – dieta inicial 2.

5.2.4.1. Características de desempenho

Foram avaliados o peso, o consumo médio diário de ração (CMD), ganho de peso médio diário (GMD), e conversão alimentar (CA) por fase.

O consumo de ração (g) foi obtido pela diferença de peso da ração fornecida e a sobra no final de cada fase e no final do período experimental.

Os dados de ganho de peso foram obtidos para os períodos de 21-35, 35-49 dias e 50-70 dias de idade. O ganho de peso (g) foi obtido pela diferença de peso dos leitões no final de cada fase e no final do período experimental.

A conversão alimentar foi obtida pela relação entre o consumo e o ganho de peso no final de cada fase e no final do período experimental, sendo corrigida pelo peso dos leitões mortos.

5.2.4.2. Colheita de Sangue para análise de zinco no soro

As colheitas de sangue ocorreram aos 21 e aos 70 dias de idade.

Para a colheita de sangue os leitões foram posicionados em decúbito dorsal com os membros anteriores esticados caudalmente e a cabeça fixada, sendo colhidas amostras de sangue da veia cava cranial com seringa de 20 ml e agulha 0,8 x 25 mm para leitões com 21 dias de idade e 1,2 x 40 mm para os animais com 70 dias. O sangue coletado foi imediatamente transferido para tubos sem anticoagulantes e acondicionados em isopor com gelo. Imediatamente após o término da colheita o material foi centrifugado a 3000 rpm por 15 minutos para separação do soro e divisão do mesmo em 4 alíquotas de 2,0 ml cada. Após identificação com número do animal e data da colheita, as amostras foram armazenadas em caixas específicas e congeladas em freezer a -20°C para posterior análise de zinco no soro.

5.2.4.3. Colheita de Sangue para análise de imunidade

Para esta análise, as colheitas de sangue ocorreram aos 42 e aos 70 dias de idade.

O acompanhamento de parâmetros imunológicos deu-se através da detecção de anticorpos contra *Streptococcus*, cujos leitões foram vacinados com 2 ml via intramuscular em duas doses, segundo recomendações do fabricante da vacina. A primeira dose da vacina deu-se aos 28 dias e a segunda dose aos 42 dias de idade. A coleta aos 70 dias de idade tinha o intuito de captar o pico vacinal e assim a resposta imune. Para tanto um leitão de cada repetição foi escolhido aleatoriamente (totalizando 45 leitões) sendo a coleta inicial e final sempre dos mesmos animais.

Para a colheita de sangue os leitões foram posicionados em decúbito dorsal com os membros anteriores esticados caudalmente e a cabeça fixada, sendo colhidas amostras de sangue da veia cava cranial com seringa de 20 ml e agulha 1,2 x 40mm. O sangue coletado foi imediatamente transferido para tubos sem anticoagulantes e acondicionados em isopor com gelo. Imediatamente após o término da colheita o material foi centrifugado a 3000 rpm por 15 minutos para separação do soro e divisão do mesmo em 4 alíquotas de 2,0 ml cada. Após identificação com número do animal e data da colheita, as amostras foram armazenadas em caixas específicas e congeladas em freezer a -20°C para posterior análise imunológica por meio de kit Elisa para *Streptococcus*.

5.2.4.4. Incidência de Diarréia

Durante todo o período experimental, os leitões e suas fezes foram observados sempre pelo mesmo observador, duas vezes ao dia, às 07h00min e às 17h00min, com o objetivo de verificar a influência dos tratamentos sobre a incidência de diarréia. Mediante análise visual das excretas, foi classificada a característica física das fezes, por meio dos seguintes critérios:

- 1 - fezes com consistência normal;
- 2 – fezes pastosas;
- 3 – fezes moles ou aquosas.

Considerou-se com diarréia o animal com fezes com escore 2 e 3 (MORES *et al.*, 1990; BERTO, 1997). As observações foram tabuladas para o cálculo da porcentagem de incidência de diarréia, esta dada como o somatório das vezes em que foi observado o escore 2 e 3, sobre o total de observações registradas.

5.2.4.5. Análises Histológicas

Foram colhidas amostras do duodeno dos diferentes tratamentos, para avaliação da altura das vilosidades, profundidade das criptas e relação altura das vilosidades:profundidade das criptas.

Para tanto, por ocasião do desmame foi sacrificado quatro animais por tratamento do Experimento I, escolhido aleatoriamente. Esta análise teve o intuito de constatar os efeitos dos diferentes tratamentos recebidos pelas matrizes sobre a integridade intestinal de seus leitões.

Aos 70 dias de idade foi sacrificado um animal por repetição, escolhido aleatoriamente, esta análise teve o intuito de constatar os efeitos das diferentes rações sobre a integridade intestinal dos leitões no período de creche.

Em ambos os casos foram colhidas amostras da porção proximal do duodeno, com aproximadamente 1,0 cm de comprimento, as quais foram abertas em sua borda mesentérica, lavadas, estendidas pela túnica serosa e fixadas em solução de Bouin. Após 24 horas na solução fixadora de Bouin, as amostras foram lavadas em álcool etílico a 70° GL e a seguir, desidratadas em séries crescentes de álcoois. Após a desidratação, foram recortadas, diafanizadas em benzol e incluídas em parafina, de modo que se obteve cortes longitudinais da mucosa intestinal. Em cada lâmina histológica foram colocados seis cortes semi-seriados com 5 µm de espessura, sendo que, entre um corte e o subsequente, foram desprezados seis cortes. Foram feitas três lâminas de cada animal e os cortes foram corados segundo a técnica

da hematoxilina de Harris-eosina. Após a preparação das lâminas, foram efetuadas 30 medidas de alturas das vilosidades e 30 medidas de profundidade das criptas para cada segmento do duodeno coletado. As medidas de altura de vilosidade foram tomadas a partir da região basal, que coincide com a porção superior das criptas, percorrendo-a longitudinalmente até seu ápice e as criptas, da sua base até a região de transição cripta-vilosidade (Figura 15). A análise morfológica foi realizada em um sistema analisador de imagem através de microscopia de luz, com um aumento de 230 vezes.

Figura 15. Vista das áreas, primeiro de uma vilosidade e segunda de uma cripta, em amarelo e como foi medido o comprimento através de retas tangentes aos limites. O pontilhado vermelho indica a distância entre as retas e é a medida analisada.

5.2.4.6. Densitometria Óssea

Para a análise de densitometria óssea foram abatidos animais no desmame e ao término do período de creche – 70 dias, desses foram retirados o metacarpo direito.

Do metacarpo direito, procedeu-se-á a retirada de tecidos moles e ligamentos deixando a peça óssea pronta para ser submetida às tomadas radiográficas.

Assim, realizou-se, as análises densitométricas no departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal no laboratório de Biofísica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Araçatuba/SP.

Para a análise densitométrica utilizou-se densitômetro de dupla emissão de raios-X (DXA), modelo DPX-ALPHA, Lunar® (Figura 16), com software especial para pequenos animais, sendo determinado o conteúdo mineral ósseo (CMO) e a densidade mineral óssea (DMO) em toda a área do osso (Figura 17).

Figura 16. Densitômetro

Figura 17. Imagem gerada do metacarpo no densitômetro

As leituras densitométricas foram realizadas após a digitalização das imagens radiográficas e o armazenamento das mesmas em um microcomputador, obtendo-se o CMO e o DMO (Figura 18).

Figura 18. Aquisição de imagem e obtenção de dados após análise densitométrica

5.2.5. Análises Estatísticas

Os dados coletados na creche foram analisados pelo GLM do SAS, com delineamento em blocos casualizados. Cada baía composta de 4 leitões (lote misto) foi considerada a unidade experimental. Somente os dados de diarreia, imunidade e histologia intestinal foi pelo GLIMMIX do SAS. O teste de médias foi feito pelo teste de Tukey 5% e a homogeneidade das variâncias pelo teste T 5%.

5.3. Experimento III - Suplementação de zinco apenas para os leitões

5.3.1. Animais

Os leitões do experimento III foram provenientes de matrizes que não receberam diferentes fontes de zinco, e assim fornecer somente à eles estas diferentes fontes e em níveis variados. Desta forma, observar qual o melhor nível da diferente fonte de zinco promove melhores resultados de desempenho em condições de campo.

Para tanto foram utilizados 810 leitões (machos castrados e fêmeas), desmamados com aproximadamente 21 dias de idade, com peso médio $5,706 \pm 0,586$ kg. Foram distribuídos em delineamento de blocos com 6 tratamentos (três fonte: zinco metionina, zinco glicina e óxido de zinco e dois níveis de inclusão: 100 e 200 ppm) com 3 repetições de 45 animais cada.

Os leitões foram vacinados para Circovirose aos 42 dias de idade.

5.3.2. Local e Instalação

O experimento foi realizado em granja comercial sob razão social Granja Antônio Ianni, localizada no município de Itu, estado de São Paulo. O município de Itu fica a aproximadamente 170 km da cidade de Pirassununga/SP, sede da pesquisa. (Figura 19).

Figura 19. Localização da Granja

O município de Itu/SP apresenta uma latitude 23°15'51" sul e a uma longitude 47°17'57" oeste, estando a uma altitude de 583 metros. O clima é subtropical com temperatura anual de 20°, o verão é quente e chuvoso e o inverno é frio e seco. Ainda, apresenta, relevo de colina suave e nas regiões limítrofes algumas altitudes.

A Ianni Agropecuária é uma granja de suínos de ciclo completo que possui os seguintes setores: gestação, maternidade, creche, terminação, central de inseminação artificial e fábrica de ração. O Experimento III foi conduzido no setor de creche (Figura 20)

Figura 20. Setor de Creche da Granja

O setor de creche possui capacidade para 7200 leitões divididos em 8 salas, com 20 baias suspensas cada (Figura 21). Cada baia tem capacidade para alojar 45 animais e possui um comedouro semi-automático e um bebedouro tipo chupeta (Figura 22).

Figura 21. Salas de Creche

Figura 22. Vista da sala experimental e distribuição de cochos e bebedouros

O aquecimento do galpão deu-se apenas pelo manejo de cortinas e teve como finalidade garantir o conforto térmico dos animais. A observação da temperatura deu-se através de termômetros de máxima e mínima existentes em cada sala.

5.3.3. Alimentação

A distribuição dos leitões nos tratamentos foi feito com base no peso ao desmame (homogeneidade experimental). O experimento foi dividido em três fases que corresponderam ao tempo de fornecimento das dietas (Fase I - 21 a 35 dias; Fase II - 35 a 42 dias; Fase III - 42 a 60 dias) (Tabela 14).

Os tratamentos nas duas primeiras fases (I e II) foram:

- 1 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 100 ppm Zn provenientes de óxido de Zn;
- 2 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 100 ppm de Zn, obtido pela utilização de Zn-Metionina;
- 3 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 100 ppm de Zn, obtido pela utilização de Zn-Glicina;
- 4 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 200 ppm de Zn oriundo de óxido de Zn;

- 5 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 200 ppm de Zn proveniente de Zn-Metionina;

- 6 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 2200 ppm + 200 ppm de Zn obtido de Zn-Glicina.

Para a fase III (inicial de 42 – 60 dias), os tratamentos foram:

- 1 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 100 ppm Zn provenientes de óxido de Zn;

- 2 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 100 ppm de Zn, obtido pela utilização de Zn-Metionina;

- 3 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 100 ppm de Zn, obtido pela utilização de Zn-Glicina;

- 4 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 200 ppm de Zn oriundo de óxido de Zn;

- 5 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 200 ppm de Zn proveniente de Zn-Metionina;

- 6 - dieta basal com Zinco em nível farmacológico de 1500 ppm + 200 ppm de Zn obtido de Zn-Glicina.

A água e a alimentação foram fornecidas *ad libitum*.

Tabela 14. Composição de Rações dos Leitões do Experimento II

Ingredientes	Ração Pré Inicial	Ração Inicial 1	Ração Inicial 2
Milho	0	26,100	57,032
Arroz Quirera	32,801	20,000	0
Farelo de Soja (46%)	22,700	28,900	29,000
F. de Carne e Óssos (44%)	2,000	2,500	4,000
Açúcar	5,000	5,000	5,000
Óleo de Soja	1,600	1,600	0
Levedura	5,000	2,550	0,050
Leite em Pó	7,500	0	0
Soro	17,500	7,500	7,500
Sal	0	0,400	0,400
Calcáreo	0,282	0,310	0
Ácidos Orgânicos	0,600	0,500	0
Fitase	0,010	0,010	0,010
Sulfato de Cobre	0,053	0,045	0,037
ZnO	0,256	0,258	0,168
Cloreto de Colina	0,071	0,089	0,083
DL-Metionina	0,293	0,209	0,120
L-Lisina	0,485	0,379	0,259
L-Treonina	0,229	0,172	0,098
L-Triptofano	0,060	0,0410	0,013
Acidificante	0,250	0,250	0,250
Palatabilizante	0,010	0,010	0,010
Antimicrobiano	0	0,060	0,040
Sulfato de Colistina	0,060	0,028	0,016
Amoxicilina	0,032	0	0
Doxiciclina	0	0,04	0,03
Antioxidante	0,020	0,020	0,020
Premix Vit./Min. ¹	0,220	0,200	0,160
Veículo	2,968	2,829	2,204
Total	100	100	100
Níveis Nutricionais			
EM, kcal/kg	3.363	3.286	3.240
PB (%)	19,80	20,53	20,39
Fibra Bruta (%)	1,96	2,75	3,27
Cinzas (%)	4,93	4,99	4,78
Cálcio (%)	0,69	0,69	0,73
Fósforo Total	0,69	0,69	0,68
Lisina digestível (%)	1,40	1,30	1,12
Isoleucina digestível (%)	0,77	0,79	0,78
Metionina digestível (%)	0,57	0,49	0,41
Met+Cis digestível (%)	0,81	0,77	0,69
Treonina digestível (%)	0,88	0,83	0,75
Triptofano digestível (%)	0,25	0,23	0,20
Valina digestível (%)	0,82	0,85	0,84
Treonina digestível (%)	0,88	0,83	0,75
Lactose Total (%)	15,90	5,38	0
Gordura Total (%)	4,71	3,73	3,04
Sal (%)	0,56	0,59	0,43
Zinco ² (mg/kg)	2200	2200	1500

¹**Premix Vit./Min.** (por kg de produto): Cálcio (min) 195,00 g/kg, Cálcio (máx) 205,00 g/kg; Ác. Fólico (min) 26,70 mg/kg; Ác. pantotênico (min) 266,00 mg/kg; Biotina (min) 1,44 mg/kg; Cobre (min) 3.250,00 mg; Cobalto (mín) 4,20 mg; Fósforo (min) 59,00 g/kg; Niacina (min) 528,00 mg/kg; Iodo (min) 35,00 mg/kg;

Efeito das Fontes de Zinco na Dieta de Matrizes Suínas e na sua Progenie

Manganês (min) 1.000,00 mg/kg; Colina (min) 3.750,00 mg/kg; Selênio (min) 11,20 mg; Sódio (min) 59,00 g/kg; Ferro (mín) 1.373,00mg/kg; Vit. A 133.330,00 UI/kg; Vit. B1 (min) 26,66 mg/kg; Vit. B12 (min) 666,72 mcg/kg; Vit. B2(min) 106,00 mg/kg; Vit. B6 (min) 48,00 mg/kg; Vit. D3 (min) 53.330,00 UI/kg; Vit. E (min) 266,66 UI/kg; Vit. K (min) 53,33 mg/kg; zinco (min) 2.624 mg/kg. ²**Zinco**: acréscimo de 100 ou 200 ppm de Zinco fornecido pelas diferentes fontes de Zinco: glicina, metionina e óxido.

5.3.4. Características avaliadas

Para mensurar o desempenho zootécnico dos animais, foram realizadas quatro pesagens e ocorreram aos 21, 35, 42 e aos 60 dias, que correspondem os períodos compreendidos nas fases (Figura 23):

- I - 21 a 35 dias – dieta pré inicial;
- II - 35a 42 dias – dieta inicial 1;
- III - 42 a 60 dias – dieta inicial 2.

Figura 23. Pesagem dos Leitões

Foram avaliados o peso, o consumo médio diário de ração (CMD), ganho de peso médio diário (GMD), e conversão alimentar (CA) por fase.

O consumo de ração (g) foi obtido pela diferença de peso da ração fornecida e a sobra no final de cada fase e no final do período experimental.

Os dados de ganho de peso foram obtidos para os períodos de 21-35, 36-42 dias e 43-60 dias de idade. O ganho de peso (g) foi obtido pela diferença de peso dos leitões no final de cada fase e no final do período experimental.

A conversão alimentar foi obtida pela relação entre o consumo e o ganho de peso no final de cada fase e no final do período experimental, sendo corrigida pelo peso dos leitões mortos.

5.3.5. Análises Estatísticas

Os dados coletados na creche foram analisados pelo GLM do SAS, com delineamento em blocos casualizados. Cada baia composta de 45 leitões (lote misto) foi considerada a unidade experimental. O teste de médias foi feito pelo teste de Tukey 5% e a homogeneidade das variâncias pelo teste T 5%.

Resultados e Discussão

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Experimento I

6.1.2. Desempenho na gestação

A temperatura média durante a gestação, no período experimental foi de 30 (max.) e 19,5°C (min.).

Para o desempenho das matrizes drante a gestação, não se constatou nenhuma diferença significativa ($P^* < 0,05$) para peso e espessura de toucinho. Havendo influência das fontes usadas apenas sobre o consumo alimentar ($P^* > 0,05$), em que as fêmeas tratadas com a fonte inorgânica (ZnO) apresentaram maior consumo em relação as tratadas com as fontes orgânicas (zinco-metionina (Zn-Met) e zinco-glicina (Zn-Gli)) (Tabela 15).

Devido a escassez de trabalhos na literatura verificando o uso de diferentes fontes de zinco (orgânicas e inorgânica) na dieta da matriz suína e seus efeitos na progênie, o estudo teve o intuito de verificar o uso destas diferentes fontes durante toda a gestação e com avaliação de possíveis efeitos na lactação e creche nos leitões. Destacam-se os estudos de Payne et al. (2006) e Caine et al. (2009) que testaram diferentes fontes de zinco na dieta de matrizes e os efeitos na progênie.

Payne et al. (2006) testaram os efeitos de duas fontes de zinco (inorgânica = sulfato de zinco (ZnSO_4) e orgânica (ZnAA) durante a gestação (iniciou-se no 15º dia de gestação) e lactação de matrizes suínas e os impactos sobre a progênie. Os autores forneceram dietas a base de milho e soja, e as diferentes fontes deveriam fornecer o mínimo de 100 ppm de Zn. Os autores não encontraram diferença para peso e consumo, não sendo mensurado a espessura de toucinho.

Caine et al. (2009), com dietas a base de cevada e farelo de soja, testaram duas fontes de zinco para matrizes suínas (inorgânica = óxido de zinco (ZnO) e orgânica = complexo zinco aminoácido (ZnAA)). As fêmeas tratadas com fonte orgânica receberam 250 mg/kg de Zn na dieta na forma ZnAA e as do grupo controle, com 120 mg/kg de Zn na dieta na forma de óxido de zinco (ZnO). As diferentes fontes foram testadas apenas no último trimestre de gestação até o parto, após esse período, na lactação, todas as fêmeas foram suplementadas com 120 mg/kg de ZnO. Os Autores não encontraram diferença para consumo, peso e espessura de toucinho entre as matrizes alimentadas com complexo ZnAA e ZnO ($P > 0,1$).

Tabela 15. Valores médios e desvios padrão do peso (kg), espessura de toucinho (ET - mm) e consumo de ração total (CR - kg) ao longo da gestação

		Tratamentos			P*	SEM	P**
		ZnO	Zn-Met	Zn-Gli			
Peso (kg)	cobertura	139,50±6,35	135,25±5,95	135,93±7,68	0,409	1,381	>0,05
	47d de gestação	176,31±9,21	173,00±8,32	171,29±6,91	0,496	1,701	>0,05
	67d de gestação	185,44±11,32	182,31±7,35	181,57±5,56	0,675	1,824	>0,05
	107d de gestação	224,19 ± 12,31	216,63±13,14	215,14±15,63	0,395	2,846	>0,05
ET (mm)	cobertura	11,81±1,24	10,75±1,20	12,39±2,31	0,164	0,354	>0,05
	67d de gestação	14,44±2,17	13,75±1,22	14,27±2,28	0,763	0,389	>0,05
	107d de gestação	15,21±2,03	14,15±1,52	15,93±2,39	0,243	0,425	>0,05
CR (kg)	Período total	259,96±4,16 a	253,86±3,53 b	249,26±2,33 b	0,0001	1,237	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P^* < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Assim, os dados de Caine et al. (2009) e Payne et al. (2006) corroboram com os resultados encontrados para peso, mas diferem dos de consumo nesta fase. Ainda, os dados de ET de Caine et al. (2009) confirmam os encontrados no presente estudo.

Pode-se inferir que independente da fonte de Zn usada, orgânica ou inorgânica, ambas não afetam o peso e a ET das fêmeas, características essas relevantes para uma melhor condição corporal para suportar a lactação e subsequente cio das fêmeas.

O maior consumo de ração para as fêmeas alimentadas com ZnO em relação as tratadas com as fontes orgânicas, talvez deva-se ao maior peso das primeiras. Este maior peso não apresentou diferença estatística significativa, mas ocorreu durante todo o período gestacional. Ressalta-se que as fêmeas foram distribuídas aleatoriamente para cumprir os quesitos de ocasionalidade estatística.

Para as variáveis analisadas na gestação, ao testar-se a homogeneidades dos dados, observou-se que todos os tratamentos apresentaram-se de forma similar ($P^{**}>0.05$).

6.1.3. Desempenho na lactação

Na lactação, a temperatura média máxima e mínima durante o período experimental foi respectivamente, de 27 e 15 °C, ressaltando-se que este foi o ambiente térmico no qual as matrizes foram submetidas, uma vez que os leitões possuíam escamoteador com piso aquecido a fim de fornecer temperatura próxima de 30°C para os mesmos.

Durante a lactação não houve efeito das diferentes fontes de zinco ($P^{*}<0,05$) para peso após ao parto, ao desmame e para consumo diário de ração. Porém, houve diferença para mobilização de reserva ($P^{*}>0,05$) em que as fêmeas alimentadas com ZnO tiveram menor perda de peso no período quando comparadas com as tratadas com Zn-Met, mas ambas não diferindo das matrizes que receberam Zn-Gli (Tabela 16).

Tabela 16. Valores médios e desvios padrão do peso, ganho de peso (GPD) e consumo de ração diário (CRD) das fêmeas na lactação

	Tratamentos			P*	SEM	P**
	ZnO	Zn-Met	Zn-Gli			
Peso pós Parto (kg)	194,63±15,94	189,44±8,89	187,86±9,60	0,524	2,466	>0,05
Peso ao Desmame (kg)	185,69±17,68	176,06±6,90	174,07±15,04	0,240	0,188	<0,05
Mobilização de Reserva (kg/dia)	-0,24 ±0,23 a	-0,46±0,14 b	-0,44±0,09 ab	0,037	0,040	<0,05
ET (mm) ao Desmame	13,16±2,27	12,49±1,38	13,61±2,57	0,589	0,431	>0,05
CRD (kg/dia)	3,90 ±0,45	3,30±0,50	3,29±0,89	0,110	0,139	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P^*<0,05$) pelo teste de Tukey.

Os dados apresentados para peso ao desmame e consumo diário de ração pelas matrizes na fase de lactação estão de acordo com os encontrados por Payne et al. (2006).

Ainda, os dados de peso após parto, peso ao desmame, ET e consumo de ração estão de acordo com os obtidos por Metzler-Zebeli et al. (2010), no qual os autores testaram duas fontes de zinco na dieta (baseada em cevada e farelo de soja) de matrizes suínas em lactação, fornecendo-se 120 ppm de ZnO (grupo inorgânico) e 240 ppm de ZnAA (grupo orgânico).

Apesar de não apresentarem diferença estatística de peso ao parto e ao desmame entre os tratamentos, as fêmeas tratadas com zinco orgânico tiveram uma maior mobilização de reserva ($P^*>0,05$). Observa-se que a diferença de peso é de aproximadamente 5 kg entre ZnO e Zn-Met e de aproximadamente 7 kg entre ZnO e Zn-Gli. Mas ao desmame essa diferença sobe, sendo de aproximadamente 9 kg entre ZnO e Zn-Met e de 11 kg entre ZnO e Zn-Gli. Observa-se claramente que tanto ao longo da gestação, como ao longo da lactação as fêmeas dos tratamentos com zinco orgânico tiveram menor peso numericamente, acrescenta-se também que apresentaram menor consumo de ração na gestação ($P^*<0,05$) e numericamente na lactação, o que pode ter colaborado para a maior mobilização de reservas nessas fêmeas. Contudo a ET não foi influenciada pelos tratamentos ($P^*>0,05$)

Como já citado, a diferença de peso, ainda que numérico, desde o início da gestação deve-se ao acaso, princípio estatístico escolhido para distribuir as fêmeas nos tratamentos, em futuros estudos com matrizes seria interessante a distribuição por faixa de peso, e desta forma não ocorrer o risco de ter a influência deste fator sobre os dados.

Ressalta-se que as fêmeas testadas eram marrãs, e sabidamente, possuem maior mobilização de reservas corporais, sendo que se ocorrer de forma exagerada pode prejudicar a vida reprodutiva futura destas, uma vez que ainda encontram-se em desenvolvimento. Ou seja, pode influenciar a lactação e, sobretudo o intervalo-desmame-estro e ter impactos econômicos sobre a atividade produtiva. Assim, poderia ser sugerido que em estudos posteriores, o intervalo desmame-estro seja verificado, bem como o uso de fêmeas múltiparas. E antecipando-se, foi o que Peters e Mahan (2008) avaliaram, visto que estudaram a inclusão de minerais orgânicos (Fe, Se, Cu, Mn e Zn – mineral proteinado) ou inorgânicos (sais) na dieta de marrãs com níveis de acordo ou acima da recomendação do NRC (níveis praticados pela indústria), com alto ou baixo Ca e P, e estudaram os efeitos sobre o desenvolvimento corporal e reprodutivo por até 6 parições. As matrizes deste experimento alimentaram-se com dieta a base de milho e soja, e num primeiro momento os autores não observaram influência das diferentes fontes e níveis dos microminerais sobre o desenvolvimento e consumo

alimentar de marrãs. Na segunda etapa deste experimento os autores não encontraram influência para as fontes e níveis dos microminerais adotados sobre o peso corporal, consumo e intervalo-estro das matrizes. Ainda, é interessante ressaltar neste estudo (Peters e Mahan, 2008) que as fêmeas alimentadas com fonte orgânica de zinco, apresentaram maior conteúdo deste mineral a medida que as ordens de parição avançavam quando comparadas com as que receberam Zn inorgânico. Este é um fator que pode ter alta correlação com a taxa de descarte, em que fêmeas com perdas excessivas de conteúdo mineral podem apresentar problemas locomotores e reprodutivos, sendo destinadas ao abate precocemente e influenciando negativamente os custos de produção.

Quando se avaliou a homogeneidade dos dados, observou-se efeito para peso ao desmame e mobilização de reserva corporal ($P^{**}<0,05$). Apesar das fêmeas alimentadas com Zn-Met apresentarem menor peso corporal (numericamente) em relação as alimentadas com ZnO, o grupo Zn-Met teve peso mais uniforme ($P^{**}=0,024$). Já para a mobilização de reserva, observa-se que as fêmeas alimentadas com Zn-Gli tiveram uma perda de peso mais uniforme ($P^{**}=0,047$). Ainda, que os minerais orgânicos não tenham apresentado resposta positiva sobre a condição corporal (numericamente), tendem apresentar maior uniformidade neste aspecto que pode ter correlação com uniformidade de lotes para retorno ao cio.

6.1.4. Desempenho reprodutivo

Avaliando-se o desempenho reprodutivo das fêmeas tratadas com as diferentes fontes de zinco, não houve diferença significativa ($P^{*}>0,05$) para número de leitões nascidos totais, número de leitões nascidos vivos, número de leitões equalizados por leitegada (capacidade de lactar), número de natimortos, número de mumificados, peso médio do leitão ao nascimento, peso médio individual do leitão por leitegada após equalização, peso médio ao desmame e ganho de peso médio diário do leitão (Tabela 17).

Tabela 17. Valores médios e desvios padrão do número de leitões nascidos totais (Nasc. Totais), nascidos vivos (Nasc. Vivos), por leitegada equalizada (N°/Leitegada equalizada), natimorto, mumificados, peso médio ao nascimento, peso médio individual da leitegada após equalização, peso médio ao desmame e ganho de peso médio diário dos leitões (GPD) durante a lactação.

	Tratamentos			P*	SEM	P**
	ZnO	Zn-Met	Zn-Gli			
Número de nascidos totais	14,14±1,22	12,50±2,00	12,86±2,34	0,252	0,418	>0,05
Número de nascidos vivos	13,71±1,11	12,38±2,20	12,57±2,15	0,372	0,407	>0,05
N°/Leitegada equalizada	11,57±1,90	12,00±0,76	11,86±0,69	0,794	0,252	<0,05
Número de natimortos	0,38±0,52	0,13±0,35	0,29±0,76	0,666	0,113	>0,05
Número de Mumificados	0,50 ±0,76	1,13±1,13	0,57±1,13	0,424	0,211	>0,05
Peso Nascimento (kg)	1,32±0,17	1,34±0,10	1,39±0,23	0,749	0,035	>0,05
Peso individual/Leitegada (kg)	1,37±0,25	1,37±0,10	1,39±0,23	0,971	0,041	<0,05
Peso ao Desmame (kg)	6,45±1,05	5,63±0,51	5,47±0,83	0,066	0,188	>0,05
GPD (kg/dia)	0,24±0,04	0,21±0,02	0,20±0,03	0,050	0,007	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Payne et al. (2006), por sua vez, constataram que a suplementação de matrizes suínas com zinco aminoácido proporcionou maior número de leitões amamentados (equivale ao número de leitões equalizados por leitegada) ($P < 0,01$) e desmamados ($P < 0,05$). Mas, de forma similar ao encontrado neste trabalho, os autores não encontraram diferença ($P > 0,05$) para número de leitões nascidos vivos, nascidos totais, natimortos, peso médio do leitão ao nascimento e ao desmame para os leitões provenientes de matrizes alimentadas com zinco orgânico (Zn-AA) e inorgânico (ZnSO₄).

Caine et al. (2009), não encontraram resultados ($P > 0,01$) para peso ao nascimento, peso ao desmame, número de leitões nascidos e número natimortos, dados que corroboram com os encontrados no presente estudo. Metzler-Zebeli et al. (2010) também não encontraram diferença para número de leitões nascidos vivos, natimortos, leitões desmamados, peso da leitegada ao nascimento e ao desmame.

Em ambos os experimentos, a suplementação com zinco orgânico apenas no último trimestre de gestação (Caine et al., 2009), bem como ao longo da gestação (Payne et al., 2006 e os apresentados neste trabalho), parece não interferir na mortalidade embrionária, susceptível de ocorrer até os 30 dias de gestação e que teria impactos sobre o número de leitões nascidos, uma vez que estatisticamente não apresentou diferenças para número de leitões nascidos totais, vivos, natimortos e mumificados.

Peters et al. (2010), alimentando matrizes com dieta a base de milho e farelo de soja, avaliaram a inclusão de minerais orgânicos (Fe, Se, Cu, Mn e Zn – mineral proteinado) ou inorgânicos (sais) na dieta de marrãs com níveis de acordo ou acima da recomendação do NRC (níveis praticados pela indústria), com alto ou baixo Ca e P, e estudaram os efeitos sobre o desenvolvimento corporal e reprodutivo por até seis parições. Os autores encontram que fêmeas alimentadas com minerais orgânicos tiveram maior número de leitões nascidos ($P<0,05$)(12,2 versus 11,3) e leitões nascidos vivos (11,3 versus 10,6) comparado com matrizes alimentadas com microminerais inorgânicos. E matrizes alimentadas com níveis de microminerais de acordo com a recomendação industrial e maiores níveis de Ca e P tiveram menor número de leitões nascidos vivos ($P<0,01$). O peso da leitegada foi maior ($P<0,05$) quando as matrizes foram alimentadas com microminerais orgânicos, mas os leitões apresentaram peso individual similar (idêntico ao presente estudo). A capacidade de lactar e o ganho médio diário dos leitões foi maior para matrizes alimentadas com fontes orgânicas ($P<0,01$), diferindo deste estudo.

Peters e Mahan (2008) demonstraram que a suplementação dietética com micromineral orgânico acima dos níveis recomendados pelo NRC (1998) aumentou o desempenho reprodutivo de matrizes suínas, mas quando o uso de microminerais inorgânicos foi elevado o tamanho da leitegada não foi melhorado, evidenciando uma vantagem para o uso dos minerais orgânicos. Os dados citados reforçam que os minerais orgânicos podem ser utilizados, mais efetivamente, com uma demanda nutricional aumentada, encontrando que as fontes e os níveis exerceram influência, sobretudo no tamanho da leitegada, pois os autores encontraram em seus estudos, que matrizes alimentadas com microminerais orgânicos apresentaram maior número de leitões e maior número de leitões nascidos vivos do que as alimentadas com microminerais inorgânicos, o que sugere que em estudos posteriores sejam usados níveis maiores de suplementação de zinco orgânico para observar a possibilidade de melhorias reprodutivas nas matrizes tratadas com tais fontes.

No estudo de Mirando et al. (1993) foi delineado um experimento para se aproximar da prática alimentar realizada pela indústria suína, alimentando-se matrizes com uma dieta base para atender as exigências de Zn, Cu e Mn. Já a dieta tratamento teve 25% destes minerais fornecidas na forma quelatada, enquanto 75% foi oriunda de mineral inorgânico. Nesse estudo obteve-se maior número de matrizes prenhas, maior números de fetos vivos e menor mortalidade embrionária para os animais alimentados com mineral na forma quelatada quando comparados àqueles alimentados com dieta integralmente inorgânica.

Houve diferença estatística para a homogeneidade dos dados de número de leitões por leitegada e peso individual do leitão após equalização ($P^{**}<0,05$), essa diferença deve-se a equalização realizada, e não propriamente pelos tratamentos, porém não os afetando já que as médias das variáveis são consideradas idênticas estatisticamente.

6.1.5. Níveis de zinco durante a gestação e lactação

Não se constatou diferença ($P^*<0,05$) nos níveis de soro ao longo da gestação e de zinco no colostro, e no leite, entre as diferentes fontes de zinco (orgânico e inorgânico) usadas na suplementação das matrizes. Também não houve diferença para a homogeneidade dos dados entre os tratamentos ($P^{**}>0,05$). Porém, na lactação houve maior nível de Zn circulante no soro de fêmeas alimentadas com Zn-Met quando comparadas as alimentadas com Zn-Gli, e similar ao ZnO, mas numericamente também superior a este (Tabela 18).

Tabela 18. Níveis médios e desvio padrão de zinco no colostro e leite de matrizes suínas lactantes e no soro de matrizes durante a gestação e lactação

Níveis de Zinco (ppm)	Tratamentos			P*	SEM	P**
	ZnO	Zn-Met	Zn-Gli			
Colostro (mg/kg)	8,79±2,90	7,79±2,70	8,91±3,81	0,764	0,644	>0,05
Leite (mg/kg)	6,88±1,46	7,21±1,38	6,92±1,16	0,879	0,267	>0,05
Soro 47 dias de gestação	0,57±0,01	0,61±0,13	0,67±0,25	0,521	0,035	<0,05
Soro 65 dias de gestação	0,84 ±0,06	0,88±0,07	0,88±0,10	0,520	0,016	>0,05
Soro 106 dias de gestação	0,88±0,12	0,93±0,11	0,93±0,13	0,671	0,025	>0,05
Soro 21 dias de lactação	1,22 ±0,23 ab	1,34±0,16 a	1,00±0,13 b	0,010	0,046	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.

Essa maior presença de Zn no leite aos 21 dia de lactação das matrizes do grupo Zn-Met, não refletiu-se no melhor desempenho dos leitões ao desmame, o mesmo afirma-se para o colostro quando observa-se os maiores níveis presentes no colostro do grupo Zn-Gli (numericamente). Ou seja, apesar das matrizes alimentadas com minerais orgânicos terem gerado leitões mais pesados ao nascer (dados numéricos), os maiores níveis de zinco no leite não proporcionaram leitões mais pesados ao desmame, não evidenciando vantagem para os minerais orgânicos no leite, colostro e soro sobre o desempenho dos leitões na maternidade.

Segundo Richards (1999) o acúmulo de Zn no fígado do feto geralmente ocorre durante o último trimestre de gestação, garantindo um armazenamento prontamente disponível para uso durante o período pós-natal, quando o leite geralmente tem baixos níveis em

microminerais, esta é fonte primária de nutrientes para o leitão em aleitamento, ainda matrizes suínas apresentem níveis mais elevados de macro e microminerais presentes no leite, quando comparado com outras espécies animais.

Acredita-se que a suplementação dietética com níveis elevados com uma fonte orgânica de Zn altamente biodisponíveis para matrizes suínas em gestação, poderia aumentar os níveis de Zn no tecido fetal de suínos. Segundo Caine et al., (2009), fetos suínos com um elevado status de Zn sérico e nos tecidos, os predispõem a mostrar mudanças positivas no desenvolvimento para garantir integridade intestinal e função imune durante o período de aleitamento e após desmame. Porém, no presente estudo, não foram utilizados altos níveis de zinco e sim apenas o recomendado pelo NRC para suprimento das necessidades animais.

Reservas minerais em leitões neonatais são aumentadas quando matrizes gestantes são alimentadas com dietas contendo quantidades extremamente elevadas de Zn (HILL et al., 1983a) o que não ocorreu neste trabalho, já que os níveis adotados foram de apenas 100 ppm. Fato reforçado por Peters (2007) que em seu estudo, com fontes de microminerais orgânico ou inorgânico, bem como atender ou exceder o NRC, concluíram que o conteúdo de Zn foi menor quando as matrizes foram alimentadas de acordo com a recomendação do NRC.

Continuando este estudo, Peters et al. (2010) avaliaram o efeito de diferentes fontes de Zinco (Zn) orgânico versus inorgânico, e em níveis variados (recomendação NRC (1998) versus recomendação comercial (acima dos níveis estabelecidos pelo NRC (1998)) e ainda, recomendação comercial mais elevação nos níveis de Ca e P, sobre o conteúdo micromineral corporal, de fígado, de colostro, de leite das matrizes (de diferentes ordens de parição, 1,2,3,4,5 e 6) e sobre o conteúdo micromineral corporal e de fígado da progênie. Da mesma forma que o apresentado no presente trabalho, o colostro também não sofreu efeito das variáveis testadas. No leite, os níveis de Zn foram aumentados quando trabalhou-se com níveis acima da recomendação do NRC (1998), ou seja, com 100 ppm, como os adotados neste trabalho não houve influencia dos níveis de zinco no leite. Os autores indicam que matrizes de alta produção deveriam ser suplementadas com requerimento micromineral acima dos recomendados pelo NRC (1998).

6.2. Experimento II

6.2.1. Desempenho

A temperatura média inicial do experimento II, foi de aproximadamente 30°C, com queda de 1°C a cada semana, sendo a temperatura média máxima e mínima do período de 24 e 20°C, respectivamente.

Ao avaliar-se o desempenho dos leitões oriundos de mães suplementadas com diferentes fontes de zinco, não foram observadas diferenças ($P>0,05$) para peso, ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar no períodos avaliados (Tabelas 19, 21 e 22), bem como no período acumulado (Tabela 23).

Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com Caine et al. (2009), que forneceu complexo Zn aminoácido na dieta de matrizes durante a gestação, e não observou efeito no desempenho dos leitões no período pós-desmame. Resultado que apóia estudos anteriores que relatam não haver efeito sobre o desempenho de crescimento dos leitões quando a suplementação foi de 80 mg/kg Zn-lisina ou ZnMet (van HEUGHTEN et al., 2003), 50-800 mg/kg de Zn-proteinato ou Zn-polissacarídeo (CARLSON et al., 2004a) e 100 mg/kg ZnAA (PAYNE et al., 2006).

No trabalho de Payne et al. (2006) a dieta materna cosistiu em três tratamentos: 1 – 100 ppm de Zn na forma de ZnSO₄; 2 – 200 ppm de Zn na forma de ZnSO₄; e 3 – 100 ppm de Zn na forma de ZnSO₄ + 100 ppm de Zn na forma de ZnAA (zinco aminoácido). Os leitões consumiram as mesmas dietas a que as matrizes de que eram provenientes foram suplementadas. O desmame destes leitões ocorreram em média com 17 dias de idade e não foi observada diferença estatística ($P>0,010$) para as diferentes fontes sobre o desempenho dos leitões até o final da creche, que se deu com 45 dias. Tais dados estão de acordo com os encontrados neste experimento.

Por outro lado, outros pesquisadores relataram efeito positivo das fontes orgânicas de Zn no desempenho zootécnico de leitões (WARD et al., 1996; de RODAS et al., 1999; HOLLIS et al., 2005).

Tabela 19. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 21 a 35 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento		Peso aos 21 dias (kg)	Peso aos 35 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
Mãe	Leitão					
ZnO	ZnO	6,53±0,79	9,57±1,25	0,22±0,05	0,25 ±0,06	1,15±0,25
ZnO	Zn-Met	6,57±0,81	9,52±0,83	0,21±0,01	0,24±0,03	1,15±0,13
ZnO	Zn-Gli	6,50±0,74	9,36±0,50	0,21±0,03	0,24±0,03	1,19±0,09
Zn-Met	ZnO	6,34±0,64	9,14±1,11	0,20±0,04	0,21±0,03	1,09±0,34
Zn-Met	Zn-Met	6,29±0,60	9,23±1,03	0,21±0,04	0,23±0,04	1,12±0,20
Zn-Met	Zn-Gli	6,29±0,53	9,10±0,59	0,20±0,04	0,23±0,02	1,17±0,12
Zn-Gli	ZnO	5,72±0,76	8,93±0,99	0,23±0,05	0,22±0,05	0,98±0,18
Zn-Gli	Zn-Met	5,69±0,76	8,48±1,14	0,20±0,06	0,23±0,04	1,21±0,21
Zn-Gli	Zn-Gli	5,65±0,73	8,54±0,84	0,21±0,04	0,21±0,03	1,06±0,31
P valor						
FATOR MÃE (M)		0,007	0,068	0,854	0,227	0,623
FATOR LEITÃO (L)		0,979	0,824	0,730	0,798	0,561
INTERAÇÃO (M*L)		1,000	0,978	0,878	0,792	0,709
SEM		0,110	0,139	0,006	0,005	0,031
P*		>0,05	>0,05	P < 0,05	>0,05	P < 0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 20. Desdobramento do fator mãe para peso dos leitões aos 21 dias de idade

Tratamentos	PESO INICIAL	CV
A	6,53±0,72 a	11,08
B	6,31±0,55 ab	8,70
C	5,69±0,69 b	12,22
FATOR MÃE (M)	0,007	

Tabela 21. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 35 a 49 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento		Peso aos 35 dias	Peso aos 49 dias	GPD	CRMD	CA
Mãe	Leitão	(kg)	(kg)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/kg)
ZnO	ZnO	9,57±1,25	17,13±1,58	0,54±0,04	0,74 ±0,07	1,44±0,06
ZnO	Zn-Met	9,52±0,83	17,05±1,78	0,54±0,08	0,74±0,10	1,38±0,04
ZnO	Zn-Gli	9,36±0,50	17,26±1,75	0,56±0,09	0,78±0,12	1,46±0,12
Zn-Met	ZnO	9,14±1,11	16,85±0,92	0,55±0,04	0,78±0,07	1,42±0,07
Zn-Met	Zn-Met	9,23±1,03	16,54±1,80	0,52±0,07	0,75±0,07	1,43±0,08
Zn-Met	Zn-Gli	9,10±0,59	16,45±0,98	0,53±0,08	0,75±0,09	1,43±0,06
Zn-Gli	ZnO	8,93±0,99	16,30±1,44	0,53±0,06	0,74±0,09	1,41±0,03
Zn-Gli	Zn-Met	8,48±1,14	15,85±1,95	0,53±0,07	0,69±0,12	1,31±0,03
Zn-Gli	Zn-Gli	8,54±0,84	15,69±1,14	0,51±0,04	0,71±0,06	1,40±0,06
P valor						
FATOR MÃE (M)		0,068	0,111	0,854	0,314	0,623
FATOR LEITÃO (L)		0,824	0,841	0,730	0,599	0,561
INTERAÇÃO (M*L)		0,978	0,989	0,878	0,873	0,709
SEM		0,139	0,220	0,009	0,012	0,010
P*		>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	<0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 22. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 49 a 70 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento		Peso aos 49 dias (kg)	Peso aos 70 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
Mãe	Leitão					
ZnO	ZnO	17,13±1,58	33,23±2,37	0,77±0,04	1,30±0,06	1,70±0,13
ZnO	Zn-Met	17,05±1,78	31,98±2,21	0,71±0,03	1,15±0,13	1,61±0,17
ZnO	Zn-Gli	17,26±1,75	31,98±3,57	0,70±0,09	1,22±0,09	1,75±0,13
Zn-Met	ZnO	16,85±0,92	32,15±1,82	0,73±0,06	1,27±0,14	1,74±0,08
Zn-Met	Zn-Met	16,54±1,80	32,00±2,35	0,74±0,04	1,22±0,19	1,65±0,21
Zn-Met	Zn-Gli	16,45±0,98	31,74±0,84	0,71±0,06	1,21±0,12	1,72±0,14
Zn-Gli	ZnO	16,30±1,44	32,09±1,53	0,75±0,03	1,22±0,10	1,63±0,09
Zn-Gli	Zn-Met	15,85±1,95	30,48±3,14	0,70±0,07	1,14±0,14	1,64±0,19
Zn-Gli	Zn-Gli	15,69±1,14	30,63±2,15	0,71±0,06	1,25±0,08	1,77±0,12
P valor						
FATOR MÃE (M)		0,111	0,299	0,948	0,772	0,866
FATOR LEITÃO (L)		0,841	0,396	0,099	0,107	0,116
INTERAÇÃO (M*L)		0,989	0,966	0,659	0,683	0,737
SEM		0,220	0,338	0,008	0,018	0,021
P*		>0,05	<0,05	>0,05	>0,05	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 23. Valores médios e desvios padrão dos leitões no período de 21 a 70 dias de idade (acumulado), para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento		Peso aos 21 dias	Peso aos 70 dias	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
Mãe	Leitão	(kg)	(kg)			
ZnO	ZnO	6,53±0,79	33,23±2,37	0,55±0,054	0,84±0,03	1,55±0,11
ZnO	Zn-Met	6,57±0,81	31,98±2,21	0,52±0,03	0,77±0,09	1,48±0,10
ZnO	Zn-Gli	6,50±0,74	31,98±3,57	0,52±0,06	0,81±0,06	1,57±0,12
Zn-Met	ZnO	6,34±0,64	32,15±1,82	0,53±0,03	0,83±0,06	1,57±0,09
Zn-Met	Zn-Met	6,29±0,60	32,00±2,35	0,52±0,04	0,80±0,10	1,52±0,11
Zn-Met	Zn-Gli	6,29±0,53	31,74±0,84	0,51±0,03	0,82±0,08	1,60±0,10
Zn-Gli	ZnO	5,72±0,76	32,09±1,53	0,54±0,02	0,82±0,07	1,52±0,12
Zn-Gli	Zn-Met	5,69±0,76	30,48±3,14	0,51±0,05	0,75±0,09	1,48±0,16
Zn-Gli	Zn-Gli	5,65±0,73	30,63±2,15	0,51±0,03	0,80±0,05	1,57±0,05
P valor						
FATOR MÃE (M)		0,007	0,293	0,776	0,570	0,570
FATOR LEITÃO (L)		0,979	0,405	0,225	0,135	0,120
INTERAÇÃO (M*L)		1,000	0,968	0,925	0,963	0,997
SEM		0,110	0,338	0,006	0,011	0,016
P*		>0,05	<0,05	>0,05	<0,05	<0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Observou-se efeito do fator principal MÃE, ou seja, da dieta materna, sobre o peso aos 21 dias de idade dos leitões (Tabela 19). Ao se desdobrar este efeito principal, constatou-se maior peso dos leitões oriundos de matrizes suplementadas com ZnO ($P<0,05$), o que seria reflexo do maior peso ao desmame (numericamente) dos leitões pertencentes a este grupo materno (Tabela 20). Porém, não houve interação e nem efeito sobre o efeito principal leitão ($P>0,05$), o que demonstra que o maior peso originário da dieta materna ZnO foi amenizado pela distribuição dos leitões nos diferentes tratamentos, não comprometendo a análise estatística para o período de creche, nas diferentes fases e no período acumulado. Ainda, para este período observou-se maior homogeneidade dos dados para GPD da associação da dieta materna ZnO com dieta do leitão Zn-Met ($P^*<0,05$) e maior heterogeneidade dos dados para CA, a associação da dieta materna Zn-Gli com dieta do leitão Zn-Gli, bem como dieta materna Zn-Met mais dieta leitão ZnO.

Mas numericamente, observa-se que havia quase 1 kg de diferença entre os leitões dos grupos maternos ZnO e Zn-Met com relação ao Zn-Gli. Ainda, observando-se numericamente os dados, observa-se a tendência da melhor associação de qualquer dieta materna com dieta do leitão ZnO, o que resultaria em menor CA.

No período de 36 a 49 dias essa tendência citada no parágrafo anterior para peso se mantém. Mas, a associação dieta materna ZnO e dieta leitão Zn-Met e dieta materna Zn-Gli e dieta leitão Zn-Met propiciam menor CA, demonstrando uma tendência de vantagem para o uso do Zn-Met na dieta dos leitões para essa variável, ainda que consistam em afirmações numéricas. Com relação a homogeneidade dos dados nesta fase a associação da dieta materna ZnO e dieta do leitão Zn-Gli apresentou maior heterogeneidade para CA ($P^*<0,05$).

Já no período de 50 a 70 dias observa-se numericamente uma clara recuperação dos leitões provenientes de matrizes Zn-Met para peso e melhora da CA, sobretudo nos leitões que também ingeriram em suas dietas o Zn-Met. Para a homogeneidade dos dados nesta fase, que leitões recebendo dieta Zn-Gli oriundos de matrizes alimentadas com Zn-Met apresentaram pesos mais homogêneos ($P^*<0,05$) em comparação com associação materna ZnO e dieta leitão Zn-Gli e dieta materna Zn-Gli e dieta leitão Zn-Met.

Numericamente, no período acumulado (21 a 70 dias de idade dos leitões) observou-se melhor resposta para peso dos leitões quando se empregou a dieta materna Zn-Met, que foi similar e por vezes superior ao ZnO, que havia iniciado o experimento com maior peso. Ainda ressalta-se a melhor associação da dieta materna com dieta do leitão Zn-Met resultando em melhor CA, resposta diferente quando a dieta do leitão a ser empregada é o Zn-Gli,

especulando-se uma diferença entre as duas fontes de minerais orgânicos sobre sua biodisponibilidade e aproveitamento pelo animal. Segundo Bergner (1986), a menor biodisponibilidade do Zn-Gli, pode ocorrer devido ao seu menor tamanho, pois aminoácidos pequenos tendem a se ligar a fração fibrosa, tornando-os indisponíveis.

Mas o que chama a atenção no estudo foi o não uso dos níveis farmacológicos de Zn, que atuariam como promotor de crescimento, e da mesma forma obtendo-se bom desempenho com 100 ppm, questionando-se o uso indiscriminado de um potencial poluidor e suas consequências ao meio ambiente. Assim, o emprego de níveis mais elevados, como os farmacológicos deveriam ser empregados de acordo com a situação de cada granja, como citado no trabalho de Lima et al. (2009).

Para homogeneidade dos dados no período de 50 a 70 dias, observa-se maior homogeneidade para peso associação da dieta materna Zn-Met com dieta do leitão Zn-Gli ($P^* < 0,05$), para consumo de ração para dieta materna ZnO e dieta do leitão ZnO ($P^* < 0,05$) e para Ca na associação Zn-Gli e dieta do leitão Zn-Gli ($P^* < 0,05$).

6.2.2. Níveis de zinco no soro

As concentrações mais elevadas de Zn no soro são normalmente associadas com o aumento da síntese da metalotioneína na mucosa intestinal (MARTINEZ et al, 2004; CARLSON et al, 2007.). A metalotioneína é uma proteína de ligação que regula a quantidade de Zn absorvido pela ligação de Zn dietético na célula da mucosa, controlando assim a sua transferência através da membrana basolateral para a circulação e consequente deposição no fígado (RICHARDS; COUSINS, 1975). O acúmulo de Zn, Cu e Fe no tecido hepático fetal durante o final de gestação (LEE et al., 1993), presumivelmente assegura uma reserva prontamente disponível para uso durante o período pós-natal precoce quando o leite, que possui baixos níveis de elementos minerais, é a principal fonte de nutrientes (RICHARDS, 1999), sendo importante para o crescimento normal dos leitões.

Evidências sugerem que pode haver uma interação entre a suplementação de Zn e aumento de crescimento de leitões desmamados quando o nível sérico de Zn está acima de 2,5 mg/L (POULSEN, 1995; CARLSON et al., 1999). A faixa normal é de 0,5-1,5 mg/L para suínos jovens (KANEKO, 1989). Já Puls (1990), considera normais as concentrações de zinco no soro entre 0,7-1,5 mg/L e níveis marginais de 0,4-0,8 mg/L. Adicionalmente, Carlson et al. (2007) propôs que o nível dietético de Zn precisa ser maior que 1000 ppm para causar um aumento de Zn plasmático acima do normal.

O presente estudo teve como um dos parâmetros analisados o nível sérico de Zn no soro dos leitões, obtendo-se os dados demonstrados na tabela 24.

Tabela 24. Valores médios e desvios padrão para níveis de zinco (mg/ml) no soro de leitões aos 21 e aos 70 dias de vida dos leitões

Tratamento		Soro (21 d)	Soro (70 d)
Mãe	Leitão		
ZnO	ZnO	1,39±0,17	1,54±0,28
ZnO	Zn-Met	1,29±0,24	1,47±0,15
ZnO	Zn-Gli	1,26±0,12	1,42±0,21
Zn-Met	ZnO	1,32±0,22	1,34±0,15
Zn-Met	Zn-Met	1,28±0,25	1,32±0,21
Zn-Met	Zn-Gli	1,23±0,21	1,45±0,11
Zn-Gli	ZnO	1,20±0,31	1,55±0,24
Zn-Gli	Zn-Met	1,15±0,21	1,48±0,19
Zn-Gli	Zn-Gli	1,42±0,40	1,50±0,18
FATOR MÃE (M)		0,785	0,137
FATOR LEITÃO (L)		0,710	0,735
INTERAÇÃO (M*L)		0,452	0,729
P*		<0,05	>0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Os dados encontrados estão dentro da faixa normal indicada por Kaneko (1989) e Puls (1990), e não apresentaram diferença significativa ($P>0,05$) entre as fontes orgânicas e inorgânicas de zinco. Diferindo dos estudos recentes com adição de Zn na forma orgânica na dieta de matrizes, que teve como efeito o aumento dos níveis séricos e concentração em tecidos moles de Zn em leitões (CASE; CARLSON, 2002; RINCKER et al., 2005; PAYNE et al., 2006; CAINE et al., 2009). Ainda, diferem de Hahn and Baker (1993) que constataram que o zinco-metionina (Zn-Met) e o ZnSO_4 aumentaram os níveis plasmáticos de Zn duas vezes mais do que o mineral na forma óxido ($P<0,05$).

Caine et al. (2009), encontrou diferença para níveis de zinco no soro de leitões oriundos de mães tratadas com zinco orgânico (Zn-AA) em relação à fonte inorgânica (ZnO), no último trimestre de gestação, encontrando valores maiores para níveis de Zn para leitões oriundos de matrizes alimentadas com fontes orgânicas, que variaram de 0,63 e 1,51 mg/L, para dados ao nascimento e ao desmame, respectivamente.

Porém, Metzler-Zebeli et al. (2010) não encontraram diferença para níveis de zinco no soro de leitões proveniente de matrizes alimentadas com ZnAA (240 ppm) e ZnO (120 ppm), obtendo-se valores 0,57 mg/L ao nascimento a 1,05 mg/L ao desmame. Os dados desses autores corroboram com os encontrados no presente estudo.

Alguns autores também não encontram diferença para leitões alimentados na creche com diferentes fontes de zinco (orgânica – Zn metionina, e inorgânica – sais) sobre os níveis de zinco no soro (KORNEGAY; THOMAS, 1975; HILL et al., 1986). King (1990) cita que o

plasma é influenciado por vários fatores como estresse e infecções, sendo por isso considerado um pobre indicador do status de zinco.

Quando se observou a homogeneidade dos dados obteve-se resposta mais heterogênea na associação da dieta materna Zn-Gli e dieta do leitão Zn-Gli, mas somente quando comparada a associação da dieta materna ZnO e dieta do leitão Zn-Gli ($P^* < 0,05$).

6.2.3. Conteúdo mineral e densidade óssea

A deficiência de zinco pode resultar em anormalidade fetal ou do crescimento esquelético, retardo do crescimento, ou dermatite (BAKER; AMMERMAN, 1995; SHELTON et al., 2005).

Payne, et al. (2006) encontraram em seus estudos que leitões alimentados com 200ppm de ZnSO_4 ou ZnAA tinham mais Zn ósseo do que aqueles alimentados com a dieta controle (100 ppm de ZnSO_4) ($P < 0,05$), mas não houve diferença entre os tratamentos para resistência óssea. No presente estudo, não foi feita a determinação mineral específica de zinco nos ossos, mas apenas o conteúdo mineral e a densidade óssea. Sabendo-se que o zinco desempenha importante papel na calcificação óssea, buscou-se observar, se haveria diferenças no conteúdo mineral e na densidade mineral óssea.

Os dados encontrados demonstram maior densidade mineral para os leitões provenientes de mães suplementadas com minerais orgânicos (Zn-Met) quando comparado ao mineral inorgânico (ZnO) ($P < 0,05$), apesar de não apresentar diferença para o conteúdo mineral ósseo (Tabela 25). Neste último, existe uma vantagem numérica para os leitões oriundos de mães suplementadas com zinco orgânico.

Com relação à homogeneidade dos dados, observa-se que a tanto o conteúdo mineral como a densidade mineral óssea apresentam-se mais homogêneos nos leitões do grupo materno Zn-Met ($P^* < 0,05$).

Tabela 25. Valores médios e desvios padrão para conteúdo mineral e densidade óssea aos 21 dias de idade dos leitões

Tratamento Mãe	Conteúdo Mineral Ósseo (g)	Densidade Mineral Óssea (g/cm ²)
ZnO	0,22±0,04	0,08±0,01b
Zn-Met	0,33±0,02	0,12±0,002a
Zn-Gli	0,29±0,09	0,09±0,02ab
SEM	0,023	0,006
P	0,124	0,009
P*	< 0,05	< 0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Aos 70 dias de idade, porém não há diferença significativa destas sobre o conteúdo mineral e densidade mineral óssea para as diferentes fontes de zinco na suplementação de leitões no fim da fase de creche. Os dados mais heterogêneos para as variáveis em questão são os obtidos nos grupos de associação materna ZnO com dieta do leitão ZnO e Zn-Gli ($P^* < 0,05$) (Tabela 26).

Tabela 26. Valores médios e desvios padrão para conteúdo mineral e densidade óssea aos 70 dias de idade dos leitões

Tratamento		Conteúdo Mineral Ósseo (g)	Densidade Mineral Óssea (g/cm ²)
Mãe	Leitão		
ZnO	ZnO	1,98±0,22	0,25±0,07
ZnO	Zn-Met	1,65±0,19	0,23±0,03
ZnO	Zn-Gli	1,86±0,64	0,24±0,07
Zn-Met	ZnO	1,84±0,26	0,26±0,02
Zn-Met	Zn-Met	1,72±0,32	0,24±0,04
Zn-Met	Zn-Gli	1,72±0,36	0,23±0,03
Zn-Gli	ZnO	2,01±0,22	0,28±0,03
Zn-Gli	Zn-Met	1,58±0,48	0,26±0,03
Zn-Gli	Zn-Gli	1,65±0,31	0,23±0,03
FATOR MÃE (M)		0,813	0,599
FATOR LEITÃO (L)		0,115	0,178
INTERAÇÃO (M*L)		0,865	0,722
SEM		0,055	0,006
P*		>0,05	<0,05

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

6.2.4. Imunidade

Para esta análise, as colheitas de sangue ocorreram aos 42 e aos 70 dias de idade, após os animais serem desafiados por meio de vacina de *Streptococcus suis*, com acompanhamento de parâmetros imunológicos. A primeira dose da vacina deu-se aos 28 dias e a segunda dose aos 42 dias de idade. A coleta aos 70 dias de idade tinha o intuito de captar o pico vacinal e assim a resposta imune.

Não houve diferença estatística ($P > 0,05$) na imunidade de leitões, entre as diferentes fontes de zinco usadas no experimento, não havendo relação da nutrição da mãe com este fator, e nem da dieta do leitão sobre a característica avaliada (Tabela 27).

Tabela 27. Valores médios e erro médio padrão para incidência de diarreia em leitões em fase de creche

Tratamento		42 dias	SEM	70 dias	SEM
Mãe	Leitão				
ZnO	ZnO	0,20	0,18	0,60	0,22
ZnO	Zn-Met	0,40	0,2	0,60	0,22
ZnO	Zn-Gli	0,00	0,0003	0,40	0,22
Zn-Met	ZnO	0,60	0,22	0,60	0,22
Zn-Met	Zn-Met	0,20	0,18	0,40	0,22
Zn-Met	Zn-Gli	0,20	0,18	0,40	0,22
Zn-Gli	ZnO	0,00	0,0003	1,00	0,22
Zn-Gli	Zn-Met	0,40	0,22	0,80	0,22
Zn-Gli	Zn-Gli	0,20	0,18	0,80	0,22
P					
FATOR MÃE (M)		1,00		0,94	
FATOR LEITÃO (L)		1,00		0,95	
INTERAÇÃO (M*L)		0,76		0,99	

P - probabilidade das médias.

Ressalta-se que o sistema imune é constituído por diversas populações celulares que protegem o animal contra bactéria, fungos, parasitas e viroses. Tem sido claramente estabelecido que os elementos minerais (Zn, Fe, Cu, Mn, Se) são importantes para a função imune normal e resistência às doenças (FLETCHER et al., 1988). Além disso, a presença adequada de Zn em altos sistemas biológicos é crucial para o desenvolvimento normal, manutenção e função do sistema imune (DARDENNE e BACH, 1993), por isso, neste estudo objetivou-se avaliar o parâmetro imunológico, e assim possibilitasse a identificação de fonte com melhor, ou pior ação sobre este fator.

Segundo van Heugten e al. (2003), os benefícios potenciais dos complexos orgânicos de Zn sobre o sistema imune de leitões ainda não foi criticamente avaliado. Assim, estudos que tenham este foco são de grande importância para entender os mecanismos de atuação do Zn sobre a imunidade dos leitões. No estudo de van Heugten e al. (2003), os autores encontraram que os níveis recomendados pelo NRC (1998) para leitões em fase de creche (80 ppm) foram suficientes para ótimo desempenho e resposta imune, e que as fontes orgânicas não melhora estas variáveis quando comparada com ZnSO_4 . Da mesma forma, o presente estudo não identificou diferença entre os minerais orgânicos e inorgânicos sobre o parâmetro imune avaliado, fato também corroborado por Spears et al. (1999), que não constatarem efeito imune quando alimentou leitões com dietas contendo 50 ou 150 de suplementação de zinco com ou sem substituição parcial de ZnSO_4 por zinco proteinado.

Diferentemente, deste estudo, Caine et al. (2001) relataram que matrizes alimentadas com complexo zinco aminoácido (ZnAA) a partir 80 dias de gestação até o parto teve um

efeito positivo no desenvolvimento intestinal e função imunológica de leitões 24 h após serem desmamados, com idade de 14 dias, mas os pesquisadores não relataram dados em leitões durante o período de creche.

6.2.5. *Histologia Intestinal*

Os efeitos das fontes de zinco sobre a histologia intestinal foram avaliados ao desmame (21 dias de idade) e no final da fase de creche (70 dias) (Tabela 28 e 29).

Tabela 28. Valores médios para Altura de vilosidade (ALT), profundidade de criptas (PROF) e relação Altura:Vilosidade (ALT:PROF) de leitões alimentados com diferentes fontes de zinco ao desmame

Tratamento	ALT (μm)	PROF (μm)	ALT:PROF (μm)
Mãe			
ZnO	437,63	247,90	1,98
Zn-Met	438,11	227,70	2,10
Zn-Gli	433,38	231,75	1,96
P	> 0,01	> 0,01	> 0,01

P - probabilidade das médias.

Tabela 29. Tabela 30. Valores médios para Altura de vilosidade (ALT), profundidade de criptas (PROF) e relação Altura:Vilosidade (ALT:PROF) de leitões alimentados com diferentes fontes de zinco no período de creche

Tratamento		ALT (μm)	PROF (μm)	ALT:PROF (μm)
Mãe	Leitão			
ZnO	ZnO	544,63a	326,008ab	1,82a
ZnO	Zn-Met	566,49a	288,730b	2,23a
ZnO	Zn-Gli	579,23a	363,719a	1,71a
Zn-Met	ZnO	577,12a	377,084a	1,66a
Zn-Met	Zn-Met	573,46a	327,766b	1,90a
Zn-Met	Zn-Gli	521,94b	342,604ab	1,63a
Zn-Gli	ZnO	550,60a	349,342b	1,73a
Zn-Gli	Zn-Met	592,77a	318,961b	2,16a
Zn-Gli	Zn-Gli	579,36a	408,707a	1,55a
FATOR MÃE (M)		0,2831	0,0039	0,2786a
FATOR LEITÃO (L)		0,1469	< 0,0001	0,2665a
INTERAÇÃO (M*L)		0,0032	0,002	0,2423a

No desmame não foram observadas diferentes estatísticas entre as fontes utilizadas ($P>0,01$). Tal resposta indica que não houve efeito da nutrição das matrizes suína que ocasionasse vantagens ou desvantagens para um dado tratamento.

No estudo de Caine et al. (2009), nenhum estresse do desmame, que poderia ter induzido mudanças na morfologia intestinal dos leitões recém-desmamados, foram melhorados com as fontes suplementares de Zn orgânico. Os autores também não

encontraram diferença para altura de vilosidade e profundidade de criptas, bem como da relação altura de vilosidade:profundidade de criptas no duodeno de leitões provenientes de mães tratadas com zinco orgânico (Zn-AA) e inorgânico (ZnSO₄), o que corrobora com os dados encontrados. Mas, a altura das vilosidades no jejuno de leitões desmamados, oriundos de matrizes suplementadas com Zn orgânico, apresentou tendência de ser maior do que os de matrizes alimentadas com a dieta controle (CAINE et al., 2009). Metzler-Zebeli et al. (2010), também relataram não haver efeito da suplementação de matrizes na lactação com ZnAA sobre a morfologia intestinal de leitões desmamados ($P>0,01$).

Antes de analisar melhor a Tabela 29, é importante lembrar-se que uma boa relação altura do vilo/profundidade de cripta ocorre quando os vilos se apresentam altos (em forma de dedos) e as criptas pouco profundas, proporcionando melhor absorção de nutrientes (SANTOS et al., 2002). Assim, avaliando-se a associação da dieta dos leitões a dieta materna, observou-se diferenças estatísticas para as variáveis analisadas, tanto para altura de vilosidade (ALT) como para profundidade de cripta (PROF), mas sem diferir para a relação altura de vilosidade/profundidade de cripta (Tabela 29).

A pior associação para altura de vilosidade deu-se quando as matrizes foram suplementadas com Zn-Met e os leitões com Zn-Gli, ou seja, apresentou a menor altura de vilosidade. Ainda, para profundidade de criptas, essa tendência se mantém, em que o Zn-Gli apresenta criptas mais profundas. A melhor resposta ocorreu quando se associou qualquer dieta materna a dieta do leitão com Zn-Met, refletindo-se, consequentemente, na melhor relação altura de vilosidades/profundidade de criptas para Zn-Met na dieta do leitão, apesar desta diferença ser apenas numérica.

Ainda, Payne et al. (2006) também relatou não haver diferença para a porção do duodeno como efeito das diferentes fontes e níveis de zinco ($P>0,05$) (ZnSO₄ e ZnAA) ao desmame, mas somente ao final da creche em que houve desvantagem para o uso do mineral orgânico (ZnAA). No presente estudo, os dados ao final de creche indicam resposta semelhante entre a fonte orgânica e inorgânica, diferindo de Payne et al. (2006) para essa fase.

6.2.6. Incidência de Diarreia

A diarreia consiste em fezes de consistência mole e por vezes líquida com frequência acima do normal, e é um sintoma que pode estar associada a diversos fatores. A severidade da diarreia pode ser associada à frequência e a duração com que ocorre, debilitando e

desidratando o animal, podendo levá-lo a morte. Alguns autores citam alguns mecanismos que podem causar a diarreia. Cheskin e Miller (2001) citam que diferença em pressão osmótica (diarreia osmótica) é causada pela presença na luz intestinal de quantidades acima do normal de solutos de baixa absorção e que possuem atividade osmótica, como carboidratos da dieta ou substâncias laxativas. A presença destes, leva ao aumento no conteúdo de água no intestino grosso, caracterizando a diarreia. Os autores ainda citam outro mecanismo causador que seria a diarreia secretória, caracterizada pelo transporte anormal de íons das células do epitélio intestinal ao lúmen, o que retém maior quantidade de água na luz intestinal. Feldman e Sleissinger (1998) citam como outro mecanismo causador de diarreia a alteração da motilidade intestinal, que pode ser causado pela aceleração ou retardo no trânsito intestinal. O primeiro é caracterizado pelo menor tempo de digestão e absorção do alimento o que faz com que o alimento e os fluídos sejam impulsionados em direção à parte final do intestino. Já o segundo, com a retenção do alimento por maior tempo no intestino promove o crescimento bacteriano intenso no intestino delgado resultando em diarreia. Os autores ainda citam outro mecanismo que pode estar relacionado às diarreias, que seriam ocasionadas por inflamação ou ulceração da mucosa intestinal com liberação de muco, fluidos, proteínas séricas e sangue da mucosa intestinal, que se depositam na luz do intestino e são expelidos através das fezes, este mecanismo estaria relacionado à incidência de disenteria suína e a colite ulcerativa. E por fim, Buddle e Bolton (1992) citam a diarreia por má digestão e absorção de nutrientes, estas causadas pela hipotrofia das vilosidades e que pode ser provocada por vários agentes, destacando-se principalmente os vírus.

Entender os mecanismos relacionados a ocorrências de diarreias, e conhecendo-se os impactos negativos sobre a produtividade e a lucratividade na criação de suínos, inúmeras pesquisas foram propostas com o objetivo de minimizar e erradicar a ocorrência destas. Nos anos 80 a utilização de ZnO em dosagem farmacológica nas rações de leitões pós-desmame apresentaram resultados benéficos no controle de diarreia e melhoraram as taxas de crescimento (POULSEN, 1989), desde então têm sido prática comum o uso de ZnO em níveis elevados neste período. Porém, a voga da maior consciência ambiental tem forçado a busca de métodos alternativos com menor poder poluente e de igual, ou melhor, eficiência para substituir as altas dosagens de minerais orgânicos empregados nas dietas animais e reduzir a poluição ambiental.

Desta forma Heo et al. (2010) em seus trabalhos encontraram resultados nos quais dietas com baixa proteínas suplementadas com aminoácidos ou a adição de ZnO (2500 ppm)

em ambas as dietas, baixa e alta proteínas, podem ser estratégias eficazes na redução de diarreia pós desmame em leitões desafiados ou não por *Escherichia coli* (*E. coli*). Ressalta-se que em situação comercial os leitões estão expostos a um maior grau de desafio por essa bactéria, logo os resultados de Heo et al. (2010) fornecem informações importantes ao setor produtivo.

No presente estudo, porém, o nível adotado na dieta de leitões foi de 100 ppm tanto para as fontes orgânicas, como para a inorgânica, ou seja, não se trabalhou com níveis farmacológicos. Assim, verificou-se maior incidência de diarreia nas primeiras duas semanas pós desmame, caracterizado por muitos autores como período crítico de criação em que há forte estresse dos leitões por inúmeros fatores como adaptação a nova dieta (passagem da dieta líquida para a sólida, muitas vezes de forma brusca), a separação da mãe, adaptação ao novo local e a nova hierarquia que se estabelece (uma vez que as baias recebem leitões oriundos de outras mães), com prejuízos ao desempenho dos animais e podendo levar a morte, e consequentemente a prejuízos econômicos ao produtor.

Os dados obtidos neste estudo demonstram que houve diferença significativa entre as fontes de zinco ($P<0,05$), havendo interação entre o fator dieta materna e dieta do leitão no período de 21 a 35 dias de idade dos leitões (Tabela 30). Observa-se uma tendência para a maior eficácia do Zn-Met tanto na dieta materna como na dieta dos leitões. A dieta materna com minerais orgânicos e leitões com dieta Zn-Met, apresentaram menor incidência de diarreia, porém quando a dieta materna empregada foi com ZnO, os leitões que consumiram também ZnO apresentaram menor incidência de diarreia.

Porém, de 36 a 49 dias de idade dos leitões, o mesmo não ocorre, em que há efeito da dieta materna, no qual o grupo materno alimentado com Zn-Gli e qualquer dieta do leitão, resulta em menor incidência de diarreia, indicando uma vantagem para essa fonte nessa fase avaliada. A associação da dieta materna ZnO com dieta do leitão com Zn-Gli apresenta incidência menor que 20%, e quando a dieta materna foi com Zn-Met e a do leitão Zn-Gli foi de 25%.

Já no período de 50 a 70 dias, o Zn-Gli continua a apresentar vantagem para a menor incidência de diarreia, em que filhos de fêmeas tratadas com Zn-Gli, independente da dieta consumida, apresentam incidência menor que 23%. Desta forma, o Zn-Gli parece ter uma vantagem ao Zn-Met e ao ZnO nos níveis utilizados, para a incidência de diarreia.

Tabela 31. Valores médios e erro médio padrão para incidência de diarreia em leitões em fase de creche

Tratamento		21-35 dias	SEM	36-49 dias	SEM	50-70 dias	SEM
Mãe	Leitão	(%)		(%)		(%)	
ZnO	ZnO	32,08b	0,021	26,43a	0,020	24,10b	0,019
ZnO	Zn-Met	41,67a	0,022	22,14ab	0,019	26,40b	0,020
ZnO	Zn-Gli	47,92a	0,022	19,29b	0,018	37,00a	0,022
Zn-Met	ZnO	43,75a	0,022	24,29b	0,019	43,24a	0,022
Zn-Met	Zn-Met	32,92b	0,021	31,43a	0,021	32,74b	0,021
Zn-Met	Zn-Gli	35,42ab	0,021	25,00b	0,019	31,36b	0,021
Zn-Gli	ZnO	48,75a	0,022	17,14a	0,017	22,71a	0,019
Zn-Gli	Zn-Met	37,08b	0,022	18,57a	0,017	20,43ab	0,018
Zn-Gli	Zn-Gli	40,42ab	0,022	22,86a	0,019	16,19b	0,016
P valor							
FATOR MÃE (M)		0,037		0,0001		<0,0001	
FATOR LEITÃO (L)		0,042		0,614		0,181	
INTERAÇÃO (M*L)		<0,0001		0,003		<0,0001	

P - probabilidade das médias.

Diferente desde estudo, Muniz et al. (2010a) encontraram para incidência de diarreia, que esta foi menor nos primeiros 15 dias pós desmame para os animais suplementados com ZnO (2400 ppm) quando comparados àqueles que receberam dieta com Zn na forma orgânica (300, 600 e 900 ppm). O autor cita que os resultados encontrados podem ter ocorrido devido ao alto nível de farelo de soja utilizado nas rações dos animais no período de creche. O farelo de soja apresenta fatores antinutricionais, que poderiam levar a alterações morfológicas negativas na mucosa intestinal dos leitões. Porém, os níveis adotados pelos autores foram 27,00, 28,68 e 27,21%, respectivamente para as fases pré-inicial 1, inicial 1 e 2, contra 20,5, 25,00 e 35% usados neste experimento. Mas, no estudo corrente, não foi empregado nível farmacológico de zinco, e nestas condições os minerais orgânicos parecem ter melhor resposta no controle de diarreia nos níveis suplementados (Tabela 30).

O mecanismo que estaria relacionado ao controle de diarreia, ainda não está bem esclarecido. Segundo Carlson et al. (1999) o efeito benéfico de doses farmacológicas de Zn como ZnO se deve a elevação na concentração de metalotioneína (proteína que regula a absorção dos minerais na mucosa intestinal) e ao aumento na síntese proteica e na proliferação celular, e assim, melhorando a condição intestinal. Outro fator seria a de que o Zn inibiria o transporte ativo de succinato para a célula de *Escherichia coli*, ou atuaria de forma a impedir a atividade do sistema oxidase, e inibindo a atividade da cadeia respiratória da bactéria ou mesmo impedindo a aderência das bactérias na mucosa intestinal (ARANTES et al., 2005; MENIN et al., 2006).

6.3. Experimento III

Durante o período experimental, a temperatura máxima em Itu foi de 26°C e mínima de 18°C.

No período experimental foram obtidos os resultados apresentados na sequência (Tabelas 31, 32, 33 e 34), para peso, ganho de peso diário (GPD), consumo médio diário (CMD) e conversão alimentar (CA).

Tabela 32. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 21 a 35 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento	Peso aos 21 dias (kg)	Peso aos 35 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
1	5,94±0,58	9,02±1,10	0,21±0,03	0,32±0,07	1,50±0,14
2	5,64±0,46	8,29±0,48	0,18±0,03	0,30±0,04	1,64±0,08
3	5,71±0,65	8,87±1,28	0,21±0,05	0,35±0,05	1,68±0,20
4	6,02±0,56	8,95±0,24	0,20±0,03	0,33±0,03	1,65±0,12
5	5,49±0,91	8,71±1,03	0,22±0,03	0,33±0,05	1,50±0,05
6	5,44±0,76	8,52±1,15	0,21±0,03	0,34±0,05	1,63±0,11
P	0,857	0,929	0,837	0,850	0,337
SEM	0,142	0,199	0,008	0,010	0,030
P*	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

1. dieta + 2300 ppm de ZnO; 2. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 2400 ppm de ZnO; 5. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Gli.

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 33. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 36 a 42 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento	Peso aos 35 dias (kg)	Peso aos 42 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
1	9,02±1,10	12,66±0,89	0,46±0,04	0,64±0,05	1,41±0,14
2	8,35±0,38	11,97±0,90	0,45±0,05	0,60±0,08	1,34±0,03
3	8,87±1,28	11,76±0,80	0,42±0,02	0,61±0,05	1,45±0,07
4	8,95±0,24	12,20±1,22	0,46±0,09	0,62±0,10	1,36±0,20
5	8,71±1,03	11,54±2,03	0,39±0,08	0,57±0,07	1,46±0,10
6	8,58±1,10	11,58±1,52	0,43±0,09	0,61±0,13	1,42±0,06
P	0,950	0,890	0,803	0,947	0,752
SEM	0,194	0,274	0,014	0,018	0,025
P*	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	<0,05

1. dieta + 2300 ppm de ZnO; 2. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 2400 ppm de ZnO; 5. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Gli.

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 34. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 43 a 59 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento	Peso aos 43 dias (kg)	Peso aos 59 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
1	12,66±0,89	20,87±0,81	0,59±0,04	0,93±0,02	1,59±0,14
2	11,97±0,90	19,70±1,62	0,55±0,05	0,83±0,03	1,52±0,18
3	11,76±0,80	18,34±0,96	0,54±0,04	0,90±0,05	1,65±0,12
4	12,20±1,22	20,12±2,33	0,57±0,09	0,92±0,05	1,65±0,21
5	11,54±2,03	18,79±3,44	0,52±0,11	0,85±0,15	1,64±0,10
6	11,58±1,52	18,52±1,80	0,50±0,02	0,86±0,07	1,73±0,06
P	0,890	0,735	0,592	0,470	0,624
SEM	0,274	0,445	0,015	0,017	0,032
P*	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

1. dieta + 1600 ppm de ZnO; 2. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 1700 ppm de ZnO; 5. dieta + 1500 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO+200 ppm de Zn-Gli

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Tabela 35. Valores médios e desvios padrão de leitões alimentados com diferentes fontes e níveis de zinco, no período de 21 a 59 dias de idade, para peso ganho de peso diário (GPD), consumo de ração médio diário (CRMD) e conversão alimentar (CA)

Tratamento	Peso aos 21 dias (kg)	Peso aos 59 dias (kg)	GPD (kg/dia)	CRMD (kg/dia)	CA (kg/kg)
1	5,94±0,58	20,87±0,81	0,41±0,01	0,67±0,03	1,61±0,08
2	5,64±0,46	19,70±1,62	0,39±0,02	0,64±0,03	1,66±0,15
3	5,71±0,65	18,34±0,96	0,39±0,01	0,68±0,03	1,78±0,06
4	6,02±0,56	20,12±2,33	0,40±0,04	0,68±0,02	1,71±0,17
5	5,49±0,91	18,79±3,44	0,38±0,05	0,65±0,04	1,74±0,16
6	5,44±0,76	18,52±1,80	0,37±0,03	0,66±0,04	1,77±0,13
P	0,857	0,735	0,625	0,494	0,583
SEM	0,142	0,445	0,006	0,007	0,030
P*	>0,05	>0,05	<0,05	>0,05	>0,05

Fase I e II (21 a 42 dias) 1. dieta + 2300 ppm de ZnO; 2. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 2200 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 2400 ppm de ZnO; 5. dieta + 2200 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO+200 ppm de Zn-Gli; **Fase III** - 1. dieta + 1600 ppm de ZnO; 2. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Met; 3. dieta + 1500 ppm de ZnO + 100 ppm de Zn-Gli; 4. dieta + 1700 ppm de ZnO; 5. dieta + 1500 ppm de ZnO + 200 ppm de Zn-Met; 6. dieta + 2200 ppm de ZnO+200 ppm de Zn-Gli

P* probabilidade das médias; P** probabilidade de homogeneidade das variâncias.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) para as diferentes fontes e níveis de zinco na creche nos períodos avaliados e no período acumulado. Porém numericamente, no período de 36 a 42 dias (Tabela 32) o ZnO apresenta melhor peso e GPD, mas quando se observa a CA, a inclusão do Zn-Met ao menor nível de ZnO ocasiona melhor resultado, inclusive com resposta mais homogênea para esse parâmetro ($P^* < 0,05$). No período de 43 a 59 dias, pareceu levar a pior resposta para peso e CA, sendo que a melhor resposta seria para a fonte integral de ZnO,

inclusive com maior GPD. E por fim, ao analisar o período acumulado, as fontes integrais de ZnO resultaram em melhor peso, GPD e CA, e as fontes orgânicas, o Zn-Gli apresentou os piores resultados de desempenho. Ao analisar a homogeneidade dos dados no período acumulado, a resposta mais homogênea para GPD deu-se para ZnO integral no menor nível de inclusão.

Diversos trabalhos foram realizados a fim de comparar fontes orgânicas e inorgânicas de um único mineral, especialmente o Zn (CHENG et al., 1998; REVY et al., 2002; HEUGTEN et al., 2003) e não demonstrando diferenças nos parâmetros de desempenho dos animais. Da mesma forma, Creech et al. (2004), ao compararem uma dieta controle com níveis normais de minerais inorgânicos (Zn, Cu, Fe, Mn, Se) e dietas com minerais orgânicos ou quelatados em quantidades reduzidas (50% da exigência do NRC (1998)), com dietas a base de milho e farelo de soja, não encontraram diferenças significativas no desempenho dos animais, nas fases de creche e de crescimento, porém houve menor excreção fecal dos minerais no tratamento com minerais orgânicos. Jogar para frente

Spears et al. (1999) alimentou leitões com dietas contendo 50 ou 150 ppm de suplementação de zinco, destes os tratamentos foram: 100% na forma de ZnSO_4 ; 75% de ZnSO_4 e 25% de zinco proteinado; 50% de ZnSO_4 e 50% de zinco proteinado. Os níveis não afetaram o consumo, o crescimento e a conversão alimentar. Mas, os leitões alimentados com 50 ppm de zinco no qual houve substituição parcial do ZnSO_4 pelo zinco proteinado tenderam melhorar ambos os consumo e crescimento. Nos tratamentos com 150 ppm de zinco, os leitões que receberam 50% de zinco proteinado tiveram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar. Muniz et al. (2010b) avaliaram o uso das fontes orgânicas de minerais (Cu, Zn, Fe, Mn e Se), comparadas as inorgânicas, nos níveis recomendados pelo NRC para ambas as fontes, nas rações fornecidas dos 24 aos 57 dias de idade de leitões. Os autores encontraram que o suplemento de minerais de fontes orgânicas foi mais eficiente para o desempenho dos leitões no período acumulado em questão, com melhora no ganho diário.

Ressalta-se que o interesse nas propriedades promotoras de crescimento de óxido de zinco (ZnO) veio à tona depois que um trabalho de Poulsen, 1989, foi publicado, que mostrou aumento no ganho de peso no pós-desmame em suínos suplementados dieteticamente com um nível farmacológico de 3000 ppm de ZnO por até 14 dias após o desmame. Diversos estudos (BERTOL; BRITO, 1998; CARLSON et al. 1999; MAVROMICHALIS et al. 1999) confirmaram este trabalho, e agora é comum incluir ZnO, em níveis que variam entre 2000 e 6000 ppm, em dietas de leitões recém-desmamados. Os atributos do ZnO como promotor de

crescimento pode ser em parte devido à sua eficácia no controle de colibacilose no pós-desmame. Apesar do seu uso generalizado nas dietas pós-desmame, o mecanismo exato pelo qual o ZnO exerce os seus efeitos é incerta.

Mas há uma grande preocupação com o uso de níveis farmacológicas de ZnO devido à excreção do mineral para o meio ambiente. Outras formas de zinco, tais como quelatos de zinco e complexos orgânicos têm maiores biodisponibilidades do que o ZnO, mas não se sabe se eles são tão eficazes na prevenção da doença entérica no pós desmame. A ocorrência da diarreia após o desmame, obviamente, depende de uma multiplicidade de fatores e condições, e estas irão influenciar a eficácia de um composto de Zn em relação ao ZnO. No entanto é necessário investigar formas alternativas de Zn (ou ZnO) que não só tenha maiores biodisponibilidades (levando a excreção fecal reduzida), mas também tenha propriedades promotora de crescimento e melhorar ou prevenir a diarreia. Por isso, nesta etapa do projeto, buscou-se trabalhar com níveis farmacológicos de zinco em condições de campo.

Porém, no presente estudo, como relatado, não se constatou diferença significativa no desempenho dos animais com a inclusão e para os níveis de minerais orgânicos na suplementação de zinco em níveis farmacológicos, dados corroborados por Hahn e Baker, (1993), que trabalharam com leitões desmamados com idade média de 28 dias e com os níveis de Zn 250, 500, 1000, 3000, e 5000 ppm para ZnO; ZnSO₄ com níveis de 1500 ou 2500 ppm de Zn; e complexo zinco lisina (Zn-Lis) nos níveis de 1500 ou 2500 ppm de Zn. Dados também confirmados por Schell e Kornegay (1996) que usaram os níveis de 105, 1000, 2000 e 3000 ppm de ZnO, Zn-Lis, Zn-Met e ZnSO₄. Muniz et al. (2010a) encontraram que o ganho de peso e o consumo de ração dos leitões que receberam a dieta com 900 ppm de Zn de fonte orgânica não diferiram dos valores observados naqueles que receberam a dieta com 2400 ppm de Zn na forma inorgânica (nível farmacológico) nas três primeiras semanas pós desmame. A suplementação da dieta com Zn orgânico (900 ppm) ou inorgânico (2400 ppm) aumentou o consumo de ração e o ganho de peso de leitões nas primeiras três semanas após o desmame.

Wang et al. (2009) encontraram resposta similar entre leitões alimentados com Zn-Gli ao nível de 100 ppm e com ZnO no nível farmacológico de 3000 ppm, em que apresentaram similar ganho de peso e diferiam dos tratamentos suplementados com 0 e 50 ppm de Zn-Gli ($P < 0,05$), dados que diferem do presente estudo. O estudo de Wang et al. (2010) encontrou que o Zn-Gli melhorou o desempenho e ainda reduziu a excreção de Zn nas fezes quando comparado com o ZnO (3000ppm). Da mesma forma Case e Carlson (2002) relataram que leitões alimentados com 500 ppm de Zn na forma de Zn-polissacarídeo teve crescimento

similar, mas com menor excreção de Zn nas fezes, àqueles obtidos por leitões alimentados com 3000 ppm de ZnO. Ward et al. (1996) também relatou que 250 ppm de Zn como Zn-metionina melhorou o desempenho de leitões da mesma forma quando se utilizou 2000 ppm de Zn como ZnO. E por fim Buff et al. (2005) ao suplementarem leitões com 300 ou 450 ppm de Zn-polissacarídeo desempenho similar àqueles obtidos com 2000 ppm de Zn como ZnO, mas a excreção de Zn diminuiu 76% no grupo alimentado com 300 de Zn-polissacarídeo quando comparado com 2000 ppm de Zn suplementado na forma de ZnO.

Schell e Kornegay (1996), avaliaram diferentes níveis de zinco (1000, 2000 e 3000 ppm) como Zn-metionina, Zn-lisina, ZnO e ZnSO₄ nas rações de leitões desmamados aos 23 dias de idade e não encontraram, no período total do experimento (quatro semanas), diferenças no desempenho dos animais.

Logo, todos esses trabalhos indicam não haver grandes diferenças no desempenho dos animais devido às fontes utilizadas, mas sim há grandes reflexos sobre a biodisponibilidade, e consequentemente com relação à quantidade de teor mineral excretado para o ambiente. Assim, questiona-se, a associação parcial em baixas doses de mineral orgânico com os níveis farmacológicos de ZnO, pois o alto nível de Zn inorgânico pode mascarar os efeitos do Zn orgânico, mas por outro lado, se a sua inclusão, mesmo que pequena resultar em menor excreção deste mineral nas fezes, esta já será uma resposta positiva.

Conclusão

7. CONCLUSÃO

As diferentes fontes de zinco, nos níveis utilizados, apresentaram efeitos mínimos sobre o desempenho reprodutivo de matrizes suínas. Observou-se que as fêmeas alimentadas com minerais orgânicos propiciaram leitões mais pesados ao nascimento (numericamente), porém desmamaram leitões mais leves o que pode ter sido resultado do menor peso e maior mobilização de reservas corporais destas fêmeas, quando comparado com as matrizes alimentadas com mineral inorgânico (ZnO), refletindo os efeitos negativos destas variáveis sobre a lactação. Não houve diferença significativa para níveis de zinco no soro de matrizes durante a gestação. Porém houve diferença desta variável analisada aos 21 dias de lactação, que foi maior nas fêmeas alimentadas com Zn-Met. Mas o mesmo não se refletiu no colostro e leite, sendo os níveis de zinco similares entre os diferentes tratamentos.

O desempenho da progênie, proveniente de matrizes alimentadas com as diferentes fontes de Zn não foi influenciada pela dieta materna e nem pela dieta dos leitões nos períodos avaliados. Ainda, não houve efeito para as diferentes fontes de Zn na progênie para os níveis de Zn no soro aos 21 dias (que seria reflexo da dieta materna) e nem aos 70 dias (reflexo da dieta do leitão e/ou associação com a dieta materna). Contudo, por ocasião do desmame, observou-se maior densidade mineral óssea para os leitões oriundos de matrizes tratadas com Zn-Met, mas aos 70 dias a dieta dos leitões não apresentou efeito sobre essa variável. Houve interação entre a dieta materna e a dieta do leitão para incidência de diarreia nas diferentes fases de creche para as diferentes fontes de Zn. Há uma tendência no período de 21 a 35 dias de idade de que as matrizes alimentadas com Zn-Met com qualquer dieta do leitão com mineral orgânico resulte em menor incidência. E ao se utilizar qualquer dieta materna a melhor associação com a dieta do leitão com Zn-Met resulta em menor incidência. Porém, no período de 36 a 49 dias e de 50 a 70 dias de idade dos leitões, ocorre vantagem para o Zn-Gli, em que dietas maternas com Zn-Gli ocasionam menor incidência de diarreia.

Já para o experimento com leitões suplementados com maiores níveis de ZnO e inclusão parcial de mineral orgânico, não se observou nenhuma diferença estatística para o desempenho dos leitões criados em condição comercial. Os dados demonstraram uma tendência para vantagens no desempenho quando houve substituição parcial do ZnO com Zn-Met, sugerindo-se maior nível de substituição em estudos posteriores.

Referências Bibliográficas

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. T.; DONZELE, J. L.; MOITA, A. M. S. Nutrição para matrizes suínas de alta performance. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 3., 2005, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2005. p. 129-139.

ACDA, S. P.; CHAE, B. J. A review on the applications of organic trace minerals in pig nutrition. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 1, n. 1, p. 25-30, 2002.

ADEOLA, O. et al. Phytase-induced in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 73, p.3 384-3391, 1995.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIAL (AAFCO). **Official publication**. Atlanta: AAFCO, 1997.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL (AFRC). Nutrient requeriments of sows and boars. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Series B, 60. TCORN, Oxfordshire, Report N° v. 4, p. 383, 1990.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). **The nutrient requeriments of pigs**. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, 1981.

ALLAN, A. K. et al. Lynphocyte metallothionein mRNA responds to marginal zinc intake in human volunteers. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 84, p. 747-756, 2000.

AMERICAM ASSOCIATION OF FEED CONTROL OFFICIALS. Feed ingredient difinitions. In: _____. **Official Publication of American Feed Control Officials Inc.** Suite: AAFCO, 1990. p. 123-215.

ANDERSON, R. A. et al. Beneficial effects of chromium on glucose and lipid variables in control and somatotropin treated pigs are associated with increased tissue chromium and altered tissue copper, iron, and zinc. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, p. 657-661, 1997.

ANDRIGUETTO, J. M. **Minerais**: in nutrição animal. 4 th ed. São Paulo: Nobel, 2002. v. 1, p. 234.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 16th. ed. Arlington: AOAC, 1996, 3 p.

ARANTES, V. M. et al. Níveis de zinco na dieta de leitões recém-desmamados: desempenho, incidência de diarreia, isolamento de e.coli e análise econômica. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 62, n. 3, p. 189-201, 2005.

ARGENZIO, R. A. Digestão absorção e metabolismo. In: SWENSON, M. J. (Ed.) **Dukes: fisiologia dos animais domésticos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. p. 253-272.

ASHIDA, K. et al. Effect of dietary microbial phytase on zinc bioavailability in growing pigs. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 70, p. 306–311, 1999.

ASHMEAD, H. D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metals salts. In: ASHMEAD, H. D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, 1993. p. 47-51.

BABCOCK, A. K. et al. Effect of oral zinc loading on zinc metabolism in humans, 2: in vivo kinetics. **Metabolism: clinical and experimental**, Maryland Heights, v. 31, p. 335–347, 1982.

BAKER, D. H.; AMMERMAN, C. B. Zinc bioavailability. In: BAKER, D. H.; AMMERMAN, C. B, LEWIS, A. J (Eds.). **Bioavailability of nutrients for animals**. New York: Academic Press, 1995. p. 367–398.

BAKER, D. H.; HALPIN, K. M. Zinc antagonizing effect of fish meal. wheat bran and a corn-soybean meal mixture when added to a phytate- and fiber-free caaein dextrose diet. **Nutrition Research**, New York, v. 8, p. 213, 1988.

BALL, R. O.; SAMUEL, R. S.; MOEHN, S. Nutrient requirents of prolific sows. **Advances in Pork Production**, Edmonton, v, 19, p. 223, 2008.

BANKS, K. M. et al. The effects of copper on the efficacy of phytase, growth and phosphorus retention in broiler chicks. **Poultry Science**, Cary, v. 83, p. 1335-1341, 2004.

BANNISTER, J.; BANNISTER, W.; WOOD, E. Bovine erythrocyte cupro-zinc protein. **European Journal of Biochemistry**, Chichester, v. 18, p.178-186, 1971.

BARBOSA, F. F. et al Níveis de plasma sanguíneo em pó em dietas para leitões desmamados aos 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1052-1060, 2007.

BARUSELLI, M. S. Benefícios do uso de minerais sob a forma orgânica no balanceamento de rações para ruminantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2008. 21 p.

BARUSELLI, M. S. Suplementos e co-produtos na nutrição de gado de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE DESAFIOS E NOVAS TECNOLOGIAS NA BOVINOCULTURA DE CORTE, 1., 2005, Brasília. **Anais...** Brasília, 2005. p. 7-21.

BATAL, A. B.; PARR, T. M.; BAKER, D. H. Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the dietary zinc requirement of young chicks fed a soy concentrate diet. **Poultry Science**, Cary, v. 80, p. 87-90, 2001.

BEACH, R. S.; GERSHWIN, M. E.; HURLEY, L. S. Reversibility of developmental retardation following murine fetal zinc deprivation. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 112, p. 1169-1181, 1982.

BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 255 p.

BERTO, D. A. et al. Efeito do tipo de dieta e do sistema de alimentação na fase inicial sobre o desempenho de leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 144-52, 1997.

BERTOL, T. A.; BRITO, B. G. Efeito de óxido de zinco x sulfato de cobre com ou sem restrição alimentar, sobre desempenho e ocorrência de diarreia em leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 279-288, 1995.

BERTOL, T.M.; BRITO, B.G. Effect of high levels of supplemental zinc on piglets' performance and mortality. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.33, 1493–1501,1998.

BESSER, J.M. **Early life-stage toxicity of copper to endangered and surrogate fish species**. Washington, D.C.: U.S. 126 Environmental Protection Agency, 2001.

BIEHL, R. R.; BAKER, D. H.; DeLUCA, H. F. 1-Hidroxyated cholecalciferol compounds act additively with microbial phytase to improve phosphorus zinc and manganese utilization in chicks fed soy-based diets. **Journal Nutrition**, Bethesda, v. 125, p. 2407-2416, 1995.

BILLINGTON, D.C. **The inositol phosphatase:** chemical synthesis and biological significance. Weinheim: Verlag Chemie, 1993.

BORGES, C. A. Q. **Uso de minerais orgânicos na avicultura.** Disponível em:<
<http://pt.engormix.com/MA-avicultura/nutricao/artigos/uso-minerais-organicos-avicultura-t298/141-p0.htm>>. Acesso em: 28 jul. 2011.

BREMNER, I. The roles of metallothionein in the metabolism of copper and zinc. **Annual Report os Studies in Animal Nutrition and Allied Sciences, Rowett Research Institute**, Aberdeen, v. 39, p. 1328, 1983.

BROZ, J. et al. Effect of supplemental phytase on performance and phosphorus utilization in broiler chickens fed a low phosphorus diet without addition of inorganic phosphates. **British Poultry Science**, Oxfordshire, v. 35, p. 273-280, 1994.

BUDDLE, J.R.; BOLTON, J.R. The pathophysiology of diarrhoea in pigs. **Pig News and Information**, v.13, p.41N-45N, 1992.

BUFF, C. E. et al. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, n. 10, p.2380-2386, 2005.

BURKETT, J. L. et al. Effect of inorganic, organic, and no trace mineralsupplementation on growth performance, fecal excretion, and apparent digestibility of grow-finish pigs. In: LYONS, J. K. A.; HOWER, J. M. (Eds.). **Nutritional biotechnology in the feed and food industries**. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 2006. p. 55-63.

CABELL, C. A.; EARLE, I. P. Aditive effect of calcium and phosphorus on utilization of dietary zinc. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 24, p. 800-806, 1965.

CAINE, W. R. et al. Intestinal development of pigs from sows fed a zinc amino acid complex. In: PROCEEDINGS BANFF PORK SEMINAR, 2001, Canadá. **Anais...** Canadá, 2001. v. 12, abst. 15.

CAINE, W. R. **Influence of dietary zinc on intestinal development and health of pigs.** Edmonton, AB: Alberta Agricultural Research Institute. 2002. Project: AARI99M413 Final Report.

CAINE, W. R. et al. Supplementation of diets for gestating sows with zinc amino acid complex and gastric intubation of suckling pigs with zinc-methionine on mineral status, intestinal morphology and bacterial translocation in lipopolysaccharide-challenged early-weaned pigs. **Research in Veterinary Science**, London, n. 86, p. 453–462, 2009.

CALVIN, H. I.; YU, C.C.; BEDFORD, J. M. Effects of epididymal maturation, zinc (II) and copper (II) on the reactive sulfhydryl content of structural elements in rat spermatozoa. **Experimental Cell Research**, Maryland Heights, v. 8, p. 333-341, 1973.

CALVIN, H. I.; HWANG, F. H.; WOHLRAB, H. Localization of zinc in a dense fiber-connecting piece fraction of rat sperm tails analogous chemically to hair keratin. **Biology of Reproduction**, Madison, v. 13, p. 228-239, 1975.

CARLSON, D.; BEATTIE, J. H.; POULSEN, H. D. Assessment of zinc and copper status in weaned piglets in relation to dietary zinc and copper supply. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 77, p. 1199-1207, 2006.

CARLSON, D.; BEATTIE, J. H.; POULSEN, H. D., Assessment of zinc and copper status in weaned piglets in relation to dietary zinc and copper supply. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 91, p. 19–28, 2007.

CARLSON, M. S. et al. Evaluation of various inclusion rates of organic zinc either as polysaccharide or proteinate complex on the growth performance, plasma, and excretion of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 82, p. 1359–1366, 2004a

CARLSON, D.; POULSEN, H.D.; VESTERGAARD, M. Additional dietary zinc for weaning piglets is associated with elevated concentrations of serum IGF-I. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 88, p. 332–339. 2004b.

CARLSON, D.; POULSEN, H. D.; SEHESTED, J. Influence of weaning and effect of post weaning dietary zinc and copper on electrophysiological response to glucose, theophylline and 5HT in piglet small intestinal mucosa. **Comparative Biochemistry Physiology A**, Philadelphia, v. 137, p. 757-765, 2004c.

CARLSON, M. S.; HILL, G. M.; LINK, J. E. Early and traditionally weaned nursery pigs benefit from phase-feeding pharmacological concentrations of zinc oxide: effect on metallothionein and mineral concentrations. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 77, p. 1199-1207, 1999.

CARLSON, M. S. et al. Effect of pharmacological zinc on intestinal metallothionein concentration and morphology in the nursery pig. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 57, 1998.

CASE, C. L.; CARLSON, M. S. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 80, n. 7, p. 1917-1924, 2002.

CASEY, A.; WALSH, G. Purification and characterization of extracellular phytase from *Aspergillus niger* ATCC 9142. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 86, p. 183-188, 2004.

CASSENS, R. G. et al. Zinc content and subcellular distribution in red vs. white porcine skeletal muscle. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 212, p. 688-692, 1967.

COUNCIL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (CAST). **Animal agriculture and global food supply**. Rep. n. 135. Ames: Council of Agricultural Science and Technology, Ames, 1999.

CASTILLO, M. et al. Use of manna-oligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs: effects on microbiota and gut function. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 86, p. 94-101, 2008

CERA, K.R.; MAHAN, D.C.; CROSS, R.F. Effect of age, weaning and post-weaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. **Journal of Animal Science**, Albany, v.66, n.2, p.574-584, 1988.

CHANMUGAM, P.; WHEELER, C.; HWANG, H. The effect of zinc deficiency on prostaglandin synthesis in rat testes. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 114, p. 2066-2072, 1984.

CHENG, J.; KONERGAY, E. T.; SCHELL, T. Influence of dietary lysine on the utilization of zinc sulfate and a zinc-lysine complex by young pigs. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 1064-1074, 1998.

CHERYAN, M. Phytic acid interactions in food systems CRC critical reviews. **Food Science and Nutrition**, London, v. 13, p. 297-335, 1980.

CHESKIN L. J.; MILLER D. L. Nutrition in the prevention and treatment of common gastrointestinal symptoms. In: COULSTON, A. M.; BOUSHEY, C. J. (Eds.). **Nutrition in the prevention and treatment of disease**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 549-562.

CHESTERS, J. K. Trace element-gene interactions. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 50, p. 217-223, 1992.

CHESTERS, J. K. In: O'Dell, B. L.; SUNDE, R. A. (Eds.). **Handbook of nutritionally essential mineral elements**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997. p. 185-230.

CHIBA, L. I. Feeding systems for pigs. In: THEODOROU, M. K.; FRANCE, J. (Eds.). **Feeding systems and feed evaluation models**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000. p. 181-209.

CLOSE W. H. Trace mineral nutrition in pigs: working within the new recommendations. In: NUTRITIONAL BIOTECHNOLOGY IN THE FEED AND FOOD INDUSTRIES, 18., 2002, Lexington. **Proceedings...** Lexington: Alltech, 2002. p. 401-406.

CLOWES, E. J. et al. Selective protein loss in lactation sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, p. 753-764, 2003.

COOK-MILLS, J. M.; FRAKER, P. J. The role of metals in the production of toxic oxygen metabolites by mononuclear phagocytes. In: CUNNINGHAM-RUNDLES, S (Ed.). **Nutrient modulation of the immune response**. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 127-140.

COUSINS, R. J. Absorption, transport and hepatic metabolism of copper and zinc: Special reference to metallothionein and ceruloplasmin. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 65, p. 238-309, 1985.

COUSINS, R. J.; LEE-AMBROSE, L. M. Nuclear zinc uptake and interactions and metallothionein gene expression are influenced by dietary zinc in rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 122, p. 56-64, 1992.

CREECH, B. L. et al. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 82, p. 2140-2147, 2004.

CROMWELL, G. L. Biological availability of phosphorus for pigs. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 52, n. 9, p.38-42, 1980.

CROMWELL, G. L. et al. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 1831-1840, 1993.

CSAPO, J. et al. Protein, fats, vitamin and mineral concentration in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. **International Dairy Journal**, Amsterdam, v. 6, p. 881-902, 1996.

CSAPO-KISS, Z. et al. Composition of mares' colostrum and milk. Protein content, amino acid composition and contents of macro- and micro-elements. **International Dairy Journal**, Amsterdam, v. 5, p. 403-415, 1995.

CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 450 p.

CUNNINGHAM-RUNDLES, S.; CUNNINGHAM-RUNDLES, W. E. Zinc modulation of immune response. In: CHANDRA, R. K. (Ed.). **Nutrition and immunology**. New York: Alan R. Liss Inc, 1988. p. 197-224.

DAMGAARD POULSEN, H. **Minerals for sows. Significance of main effects and interactions on performance and biochemical traits**. Kobenhavn: University of Kobenhavn, 1993.

DAMGAARD POULSEN, H.; CARLSON, D. Bioavailability of zinc from different zinc sources. Annual Meeting of the European Association for Animals Production, 52., 2001, Budapeste, **Proceedings...** Budapeste, 2001.

DARDENNE, M.; BACH, J. M. Rationale for the mechanism of zinc interaction in the immune response. In: CUNNINGHAM-RUNDLES, S. (Ed.) **Nutrient modulation: of the immune response**. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 501-509.

DARDENNE, M. et al. Contribution of zinc and other metals to the biological activity of serum thymic factor. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA, 1982, Washington. **Proceedings...** Washington: National Academy of Sciences, 1982. v. 79, p. 5370-5373.

DENBOM, D. M. et al. Improving phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase. **Poultry Science**, Cary, v.74, p. 1831-1842, 1995.

De RODAS, B. Z. et al. Effect of diet complexity and supplemental zinc amino acid complexes on performance of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 77 suppl. 1, p. 177, 1999.

DOMENE, S. M. A. **Estudo do valor nutritivo mineral do farelo de arroz: utilização do zinco, ferro, cobre e cálcio pelo rato em crescimento**. 1996. 104 f. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

ECKHARDT, O. H. O. **Estudo de desempenho reprodutivo e perfil metabólico de fêmeas suínas primíparas submetidas a manejos nutricionais diferenciados aliados ao emprego de gonadotrofinas exógenas**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Departamento de Nutrição e Produção Animal, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EGBERTS, H. J. A. et al., Biological and pathological aspects of the glycocalyx of the small intestinal epithelium: a review. **Veterinary Quarterly**, Oxfordshire, v. 6, p. 186–199, 1984.

EMMERT, J. L.; BAKER, D. H. Zinc stores in chicken delay the onset of zinc deficiency symptoms. **Poultry Science**, Cary, v. 74, n. 6, p. 1011-1021, 1995.

ETHERIDGE, R.D.; SEERLEY, R.W.; WYATT, R.D. The effect of diet on performance, digestibility, blood composition and intestinal microflora of weaned pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, n. 6, p. 1396-1402, 1984.

FELDMAN, M.; SCHARSCHMIDT, B. F.; SLEISSINGER, M. H. **Gastrointestinal and liver disease: pathophysiology, diagnosis and management**. Philadelphia: W. B. Sanders, 1998. 3170 p.

FERKET, P. R. et al. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from non-ruminants. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 80, suppl. 2E, p. E168-182, 2002.

FLEET, J. C. Zinc, copper, and manganese. In **Biochemical and physiological aspects of human nutrition**. Philadelphia: W.B. Saunders, 2000. p. 741-760.

FLETCHER, M. P. et al. Trace elements deficiencies and immune responsiveness in humans and animal models. In: CHANDRA, R. K. (Ed.). **Nutrition and immunology**. New York: Alan R. Liss Inc, 1988. p. 215-239.

FLINCHUM, J. D.; NOCKELS, C. F.; MORENG, R. E. Aged hens fed zinc-methionine had chicks with improved performance. **Poultry Science**, Cary, v. 68, Suppl.1, p. 55, 1989.

FRIENSEN, K. G. et al. The effect of pre and postweaning exposure to soybean meal on growth performance and on the immune response in the early-weaned pig. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 2089-2098, 1993.

GAMBLE, C. T. et al. Manganese utilization and placental transfer in the gravid gilt. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 32, p. 84-87, 1971.

GASKINS, H. R.; KELLEY, K.W. Immunology and neonatal mortality. In: VARLEY, M. A. (Ed.). *The neonatal pig development and survival*. Oxon: CAB International, 1995. p. 39-55.

GAUDRÉ, D.; QUINIOU, N. What mineral and vitamin levels to recommend in swine diets? **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 190-200, 2009. (supl. especial).

GRUPTA, R. P.; VERMA, P. C.; GRUPTA, R. K. P. Experimental zinc deficiency in guineapigs: clinical signs and some haematological studies. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 54, p. 421-428, 1985.

HAHN, J. D.; BAKER, D. H. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 3020-3024, 1993.

HAMBIDGE, K. M., CASEY, C. E.; KREBS, N. F. Zinc. In: **Trace elements in human and animal nutrition**. 5 th ed. London: Academic Press, 1986. v. 2, p.1-137.

HAMPSON, D. J. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. **Research in Veterinary Science**, London, v. 40, p. 32-40, 1986.

HAMPSON, D. J.; PLUSKE, J. R.; PETHICK, D. W. Dietary manipulation of enteric disease. **Pig News and Information**, Oxfordshire, v. 22, p. 21N-28N, 2001.

HARPER, H. A.; RODWELL, V. W.; MAYES, P. A. **Manual de química fisiológica**. ed. 5. São Paulo: Atheneu, 1982. 735 p.

HEDEMANN, M. S.; HOJSGARD, S.; JENSEN, B. B. Small intestinal morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 87, p. 32–41, 2003.

HEO, J. M. et al. Effects of feeding low protein diets to piglets on plasma urea nitrogen, faecal ammonia nitrogen, the incidence of diarrhoea and performance after weaning. **Archives of Animal Nutrition**, Oxforshire, v. 62, p. 343–358, 2008.

HEO, J. M. et al. Effects of dietary protein level and zinc oxide supplementation on the incidence of post-weaning diarrhoea in weaner pigs challenged with and enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 133, p. 210–213, 2010.

HEUGTEN, E. et al. Effects of organic forms of zinc on growth performance, tissue zinc distribution, and immune response of weanling pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, p. 2063–2071, 2003.

HIDIROGLOU, M.; KNIPFEL, J. E. Zinc in mammalian sperm: a review. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 67, p. 1147, 1984.

HILL, D.A.; PEO, E.R.; LEWIS, A.J., et al. Zinc-amino acid complexes for swine. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 63, p. 121–130, 1986.

HILL, D. A.; PEO, E. R LEWIS, A. J. Effect of zinc source and picolinic acid on ⁶⁵ Zn uptake in an in vitro continuous-flow perfusion system for pig and poultry intestinal segments. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 117, p. 1704–1707, 1987.

HILL, G. M. Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of na antibacterial agent on nursery pig performance. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 934–941, 2001.

HILL, G. M. et al. Growth promotion effects and plasma changes from feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weanling pigs (regional study). **Journal Animal Science**, Savoy, v. 78, p. 1010–1016, 2000.

HILL, G.M.; LINK, J. E. Transporters in the absorption and utilization of zinc and copper. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, suppl., p. E85–E89, 2009.

HILL, G. M. et al. A. Escherichia coli betinget fravaenningssdiarre hos grise. Zinkoxide tilsat fodret som antibakterielt princip?(Escherichia coli induced weaning diarrhea in pigs. Dietary supplementation of zinc oxide as an antibacterial method?). **Dansk Veterinaer Tidsskrift**, v. 71, p. 1118-1126, 1988.

HILL, G. M; MILLER, E. R.; KU, P. K. Effect of dietary zinc levels on mineral concentration in milk. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 57, p. 123-129.145, 1983a.

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**, Savoy, v. 57, p. 114-122, 1983b.

HILL, G. M. et al. Concentration of minerals in tissues of pigs from dams fed different levels of dietary zinc. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 57, p. 130–139, 1983c.

HOLLIS, G. R. et al. Effects of replacing pharmacological levels of dietary zinc oxide with copper dietary levels of various organic zinc sources for weanling pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, n. 9, p. 2123-2129, 2005.

HOLM, A. E. coli associated diarrhoea in weaner pigs: zinc oxide added to the feed as a preventative measure? In: IPVS CONGRESS, 1990, Lausanne, Switzerland. **Proceedings...**Lausanne, Switzerland, 1990. p. 154.

HORTA, F. C. **Avaliação do desempenho de suínos alimentados com mananoligossacarídeos**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestre em Nutrição e Produção Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

HOSTETLER, C. E. et al. Dietary supplementation of proteinated trace minerals (OPTiMIN) in sow and replacement gilts increases mineral concentrations in reproductive tissues. In: INTERNATIONAL CONGRESS ANIMAL ON REPRODUCTIVE, 14., 2000, Stockholm. **Proceedings....** Stockholm, 2000. p. 272.

HOSTETLER, C. E.; KINCAID, R. L. Gestation changes in concentrations of selenium and zinc in the porcine fetus and the effects of material intake of selenium. **Biological Trace Element of Research**, Totowa, v. 97, p. 57-70, 2004.

HU, H. L.; WISE, A.; HENDERSON, C. Hydrolysis of phytate and inositol tri-, tetra-, and pentaphosphates by the intestinal mucosa of the pig. **Nutrition Research**, New York, v. 16, p. 781-787, 1996.

HUANG, S. X. et al. Effect of dietary zinc supplementation on Escherichia colisepticemia in weaned pigs. **Swine Health and Production**, Perry, v. 7, p. 109–111, 1999.

JACKSON, M. J. Physiology of zinc: general aspects. In: MILLS, C. F. **Zinc in human biology**. London: Springer-Verlag, 1989. P. 1-14.

JENNESS, R. Composition of milk. In: WONG, N. P. **Fundamentals of dairy chemistry**. New York: Van Norstrand Reinhold Co., 1988. p. 1-38.

JENSEN-WAERN, M. et al. Dietary zinc oxide in weaned pigs – effects on performance, tissue concentrations, morphology, neutrophil functions and faecal microflora. **Research in Veterinary Science**, London, v. 64, p. 225–231, 1997.

JOHANNING, G. L. et al. Effect of zinc deficiency and food restriction in the pig on erythrocyte fragility and plasma membrane composition. **Nutrition Research**, New York, v. 10, p. 1463-1471, 1990.

JONDREVILLE, C. et al. Le cuivre dans l'alimentation du porc: oligoelement essentiel, facteur de croissance et risqué potential pour l'homme et l'homme et l'environnement. **INRA Production Animales**, Cedex, v. 15, p.246-265, 2002.

JUNQUEIRA, O. M. et. al. Avaliação de níveis e fontes de proteína na alimentação de leitões na fase inicial de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 9, p. 1622-1627, 2008.

LAN, G. Q. et al. Efficacy of supplementation of a phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. **Poultry Science**, Cary, v. 81, p. 1522-1532, 2002.

LAVORENTI, A. **Equilíbrio dos complexos e quelatos**. Piracicaba: ESALQ, Dpto. Ciências Exatas, 2002. Disponível em:<<http://ce.esalq.usp.br/arquimedes/atividade08.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2007.

LEE, S. H. et al. Evaluation of metal-amino acid chelates and complexes at various levels of copper and zinc in weanling pigs and broiler chicks. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, Korea, v. 14, n. 12, p. 1734-1740, 2001.

LEE, S. H. et al. Ceruloplasmin and copper transport during the latter part of gestation in the rat. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 203, p. 428-439, 1996..

LE DIVIDICH J.; SEVE, B. **Domestic Animal Endocrinology**, Philadelphia, v. 19, p. 63-74, 2000.

LEI, X. G. et al. Supplementing corn-soybean meal diets with microbial phytase linearly improves phytase phosphorus utilization by weanling pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 3359-3367, 1993a.

LEI, X. G. et al. Supplemental microbial phytase improves bioavailability of dietary zinc to weanling pigs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 123, p.1117-1123, 1993b.

LEI, X. G. et al. Supplementing corn-soybean meal diets with microbial phytase maximizes phytate P utilization by weanling pigs. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 3368-3375, 1993c.

LI, D. F. et al. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early weaned pig. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 68, n. 6, p. 1790-1799, 1990.

LI, D. F. et al. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early weaned pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, n. 8, p. 4062-4069, 1991.

LI, X. et al. Dietary supplementation with zinc oxide increases IGF-I and IGF-I receptor gene expression in the small intestine of weanling piglets. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 136, p. 1786-1791, 2006.

LIMA, G. J. M. M.; MORÉS, N.; SANCHES, R. L. As diarreias nutricionais na suinocultura. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 37, supl 1, p. s17-s30, 2009

LINDEMANN, M.D.; CORNELIUS, S.G.; EL KANDELGY, S.M. et al. Effect of age, weaning and diet on digestive enzymes levels in the piglets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 62, p. 1298-1307, 1986.

LIPTRAP, D. O. et al. Sex influence on the zinc requirement of developing swine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 30, p. 736-741, 1970.

LOWEL J. A.; WISEMAN, J.; COLE, D. J. A. Absorption and retention of zinc when administered as an amino-acid chelate in the dog. **Journal of Nutrition**, Berheda, v. 124, p. 2572-2574, 1994.

LOWE, J. A.; WISEMAN, J.; COLE, D. J. A. Zinc source influences zinc retention in hair and hair growth in the dog. **Journal of Nutrition**, Savoy, v. 124, p. 2575S-2576S, 1994b.

KAGI, J. H. B.; HIMMELOCH, S. R.; WHANGER, D. D. et al. Equine hepatic and renal metallothionines. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 249, p. 3537-3542, 1974.

KANEKO, J. J. **Clinical biochemistry of domestic animals**. 4th ed. San Diego, CA: Academic Press, 1989.

KATS, L. J. et al. Effect of chelated manganese on growth performance and carcass of finishing pigs. **Kansas Swine Day**, Manhattan, v. 165, p. 165-167, 1994.

KATOULI, M. et al. The effect of zinc oxide supplementation on the stability of the intestinal flora with special reference to composition of coliforms in weaned pigs. **Journal of Applied Microbiology**, West Sussex, v. 87, p. 564-573, 1999.

KIDD, M. T. et al. Progeny performance when dams and chicks are fed supplemental zinc. **Poultry Science**, Cary, v. 71, p. 1201-1206, 1992a.

KIDD, M. T. et al. Progeny performance when dams and chicks are fed supplemental zinc. **Poultry Science**, Cary, v. 72, p. 1492-1499, 1993.

KIDD, M. T.; FERKET, P. R.; QURESHI, M. A. Zinc metabolism with special reference to its role in immunity. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 52, p. 309-324, 1996.

KIRCHGESSNER, M.; HARTEL, J. Zür intermediären Zinkverfügbarkeit 15 verschiedener Zinkverbindungen. **Ztsch Tierphysiol Tierernährung Futtermittelkd**, v. 38, p. 138-146, 1977.

KELLOKUMPU, S.; RAJANIEMI, H. Effect of zinc on the uptake of human chorionic gonadotropin (hGC) in rat testis and testosterone response in vivo. **Biology of Reproduction**, Madison, v. 24, p. 298, 1981.

KERNKAMP, H. C. H.; FERRIN, E. F. Parakeratosis in swine. **Journal of American Veterinary Medical Association**, v. 123, p. 217-220, 1953.

KLASING, K.C. Effect of inflammatory agents and interleukin 1 on iron and zinc metabolism. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 247, p. R901-R904, 1984.

KORNEGAY, E. T.; CHANG, J.; SCHEFF, T. C. Apparent zinc absorption and dry matter digestibility in the stomach, intestine and lower colon of weanling pigs fed an inorganic or organic zinc source added to deficient and adequate lysine diets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.74, Suppl. 1, p. 182, 1996.

KORNEGAY, E. T.; THOMAS, H. R. Zinc-protein supplement studied. **Hog Farm Management**, Minneapolis, p. 50-51, 1975.

KRAELING, R. R.; RAMPACEK, G. B.; FIORELLO, N. A. Inhibition of pregnancy with indomethacin in mature gilts and prepubertal gilts induced to ovulate. **Biology of Reproduction**, Madison, v. 32, p. 105-110, 1985.

KRISTIANSON, P. H.; WEGGER, I. Annual Report. Inst. for Ster. Res. p.33-47, 1974.

MCCUSKER, R. H.; KALEKO, M.; SACKETT, R. L. Multivalent cations and ligand affinity of the type 1 insulin-like growth factor receptor on P2A2-LISN muscle cells. **Journal of Cellular Physiology**, Hoboken, v. 176, p. 392-401, 1998.

MACDONALD, R. S. The role of zinc in growth and cell proliferation. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 130, p. 1500S-1508S, 2000.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Science Amsterdam, 2003.

MACHADO, G. S. **Aminogut: ciência e prática na nutrição de leitão: o presente e o futuro dos desafios relacionados ao desmame e à nutrição na fase pós-desmame de leitões.**

2007. Disponível em: <http://www.lisina.com.br/upload/ajinomoto_br.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2009.

MACY, I. G.; KELLY, H. J.; SLOAN, R. E. The composition of milks; a compilation of the comparative composition and properties of human, cow, and goat milk, colostrum, and transitional milk. **Revision National Research Council**, Washington, n. 119, 1953.

MAGA, J. A. Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 30, p. 1-9, 1982.

MAHAN, D. C. Efficacy of initial postweaning diet and supplemental coconut oil or soybean oil for weaning swine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, n. 4, p. 1397-1402, 1991.

MAHAN, D. C.; NEWTON, E. A. Effect of initial breeding weight on macro and micro mineral composition over a three-parity period using a high-producing sow genotype. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 73, p. 151, 1995.

MAHAN, D. C.; KIM, Y. Y. Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentration in first-parity gilts and their progeny. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 2711-2718, 1996.

MAHAN, D.C.; PARRETT, N.A. Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, p. 2967, 1996.

MAHAN, D. C.; PETERS, J. C. Long-term effects of dietary organic or inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 1343-1358, 2004.

MAHAN, D.C.; CLINE, T.R.; RICHERT, B. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 77, p. 2172-2179, 1999.

MALETTTO, S. Alla riscoperta dei minerali. **Informatore Zootécnico**, Milan, v. 44, n. 3, p. 51-84, 1997.

MARTINEZ, M. M. et al. Pharmacological zinc and phytase supplementation enhance metallothionein mRNA abundance and protein concentration in newly weaned pigs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 134, p. 538-544, 2004.

MAVROMICHALIS, I. et al. Growth-promoting efficacy in young pigs of two sources of zinc oxide having either a high or low bioavailability of zinc. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 78, p. 2896-2902, 1999.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2. ed. Netherlands: Elsevier Science, 2003. 644 p.

McGILLVRAY, J. J. Biological availability of phosphorus sources. In: ANNUAL INTERNATIONAL MINERALS CONFERENCE, 1, St. Petersburg Beach, Florida, 1978. **Proceedings...** St. Petersburg Beach: International Minerals & Chemical Corporation, 1980. p.73-86.

MENARD, M. P.; McCORMICK, C. C.; COUSINS, R. J. Regulation of intestinal metallothionein biosynthesis in rats by dietary zinc. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 111, p. 1353-1361, 1981.

MENIN, A.; BRANCO, G.; FERRAZ, S. et al. Avaliação in vitro do papel do zinco no mecanismo de adesão da Escherichia coli em suínos. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 34, n. 2, p. 149-152, 2006.

MELLOR, D. Historical background and fundamental concepts "of chelation. In: DWYER, F.; MELLOR, D. (Eds.). **Chelating agents and metal chelates**. New York: Academic Press, 1964. p.1.

MELLOR, S. Alternatives to antibiotic. **Pig Progress**, Doetinchem, v. 16, p. 18-21, 2000.

METZLER-ZEBELI, B. U.; CAINE, W. R.; MCFALL, M. Supplementation of diets for lactating sows with zinc amino acid complex and gastric nutriment-intubation of suckling pigs with zinc methionine on mineral status, intestinal morphology and bacterial translocation in lipopolysaccharide-challenged weaned pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 94, p. 237-249, 2010.

MILLER, E.R.; ULLREY, D. E.; LEWIS, A. J. **Swine nutrition**. London: Butterworth-Heinemann, 1991. 673 p.

MIRANDO, M. A. et al. Dietary supplement of proteinated minerals influence reproductive performance of sows. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 11, suppl. 1, abstr. 180, 1993.

MORES, N. et al. Influência do nível protéico e/ou acidificação da dieta sobre a diarreia pós desmame em leitões causada por *Escherichia coli*. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3/4, p. 85-8, 1990.

MORRIS, E. R. Phytate and mineral bioavailability. In: GRAF, E. **Phytate chemistry and application**. Minneapolis: Pilatus, 1986. p. 57-76.

MULLAN, B. P. et al. Supplementation of weaner pig diets with zinc oxide or BioplexTM Zinc. In: NUTRITIONAL BIOTECHNOLOGY IN THE FEED AND FOOD INDUSTRIES, 18., 2002, Lexington. **Proceedings...** Lexington: Alltech, 2002. p. 419-424.

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, v. 39, n. 9, p. 1999-2005, 2010a.

MUNIZ, M. H. B.; BERTO, D. A.; AUGUSTO, R. M. N. Fontes de minerais orgânicos e inorgânicos para leitões desmamados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2163-2168, out. 2010b.

MURPHY, J.; LANGE, L. Nutritional strategies to minimize nutrient output. In: LONDON SWINE CONFERENCE BUILDING BLOCKS FOR THE FUTURE, 2004, London. **Proceedings...** London, 2004. p. 57-71.

MURRY, A. C.; LEWIS, R. D.; AMOS, H.E. The effect of microbial phytase in a pearl milletsoybean meal diet on apparent digestibility and retention of nutrients, serum mineral concentration, and bone mineral density of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, p. 1284-1291, 1997.

NABUURS, M. J. A. Microbiological, structural and functional changes of the small intestine of pigs at weaning. **Pig News and Information**, Oxfordshire, v. 16, p. 93N-97N, 1995.

NASI, J. M.; HELANDER, E. H. Effects of Microbial phytase supplementation and soaking of barley-soybean meal on availability of plant phosphorus for growing pigs. **Acta**

Agriculturae Scandinavica Section A Animal Science, Stockholm, v. 44, p. 79–86, 1994.

NASI, J. M.; HELANDER, E. H.; PARTANEN, K. H. Availability for growing pigs of minerals and protein of a high phytate barley-rape seed meal diet treated with *Aspergillus niger* phytase or soaked with whey. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 56, p. 83–98, 1995.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 7th rev. ed. Washington, DC: National Academic Press, 1973.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 8th rev. ed. Washington, DC: National Academic Press, 1979.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 9th edn. Washington, DC: National Academy Press, 1988.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 10th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1998.

NELSON, T.S. The utilization of phytate phosphorus by the chick—a review. **Poultry Science**, v.46, p.862-871, 1967.

NELSON, T. S. et al. The availability of phytase phosphorus in soybean meal before and after treatment with mold phytase. **Poultry Science**, Cary, v. 47, p. 1842-1848, 1968.

NÚÑEZ, M.C.; BUENO, J.D.; AYUDARTE, M.V. et al., Dietary restriction induces biochemical and morphometric changes in the small intestine of nursing piglets. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 126, p. 933–944, 1996.

OBERLEAS, D.; MUHRER, M. E.; O'DELL, B. L. Effects of phytic acid on zinc availability and parakeratosis in swine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 21, p. 57-61, 1962.

OBERLEAS, D.; MUHRER, M. E.; O'DELL, B. L. Dietary metal-complexing agents and zinc availability in rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 90, p. 56-62, 1966.

O'DELL, B. L. **Mineral-ion interaction as assessed by bioavailability and ion channel function.** In: O'DELL, B. L.; SUNDE, R. A. **Handbook of nutritionally essential mineral elements.** New York: Marcel Dekker Inc., 1997. p. 641–659.

O'DELL, B. L. Zinc plays both structural and catalytic roles in metalloproteins. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 50, p. 48-50, 1992.

O'DELL, B. L.; SAVAGE, J. E. Effect of phytic acid on zinc availability. **Proceedings of Society for Experimental Biology and Medicine**, Malden, v. 103, p. 304-306, 1960.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188 p. (Documentos, 27).

PALLAUF, J.; HÖHLER, D.; RIMBACH, G. Effect einer zuzugabe an mikrobieller phytase zu einer mais-soja-diät auf die scheinbare absorption von mg, fe, cu, mn und zn sowie auf parameter des zinkstatus beim ferkel. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 68, p. 1-9, 1992.

PALLAUF, J. et al. Effect of phytase supplementation to a phytate-rich diet based on wheat, barley and soya on the bioavailability of dietary P, calcium, magnesium, zinc and protein in piglets. **Research Journal of Agriculture and Biological Science**, Faisalabad, v. 47, p. 39-48, 1994.

PATTON R. Efficacy of chelated minerals: review of literature. IN: CONFERENCE OF THE NUTRITION ADVISORY GROUP OF THE AMERICAN ZOO AND AQUARIUM ASSOCIATION ON ZOO AND WILDLIFE NUTRITION 2., 1997, Texas. **Proceedings...** Texas, 1997. p. 14-31.

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

PECHOVA, A.; PAVLATA, L.; LOKAJOVA, E. Zinc supplementations and somatic cell count in Milk of dairy cows. **Acta Veterinaria Brno**, Brno, v. 75, n. 3, p. 355-361, 2006.

PEIXOTO, P. V. et al. Princípios de suplementação mineral em ruminantes. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 195-200, 2005.

PERDOMO, C. Uso racional dos dejetos de suínos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 1., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1996. p. 269.

PERSSON, H.; TÜRK, M.; NYMAN, M. Binding of CU, Zn and Cd to inositol Tri-, Tetra-, Penta- and hexaphosphates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 46, p. 3194-3200, 1998.

PETERS, J. C. **Evaluating the efficacy of dietary organic and inorganic trace minerals in reproducing female pigs on reproductive performance and body mineral composition**. 2006. 175 f. Thesis (PhD) - Ohio State University, Columbus, 2006.

PETERS, J. C.; MAHAN, D. C. Effects of dietary organic and inorganic trace mineral levels on sow reproductive performances and daily mineral intakes over six parities. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 86, p. 2247-2260, 2008.

PETERS, J. C. et al. Effect of dietary organic and inorganic micromineral source and level on sow body, liver, colostrum, mature milk, and progeny mineral compositions over six parities. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p. 626-637, 2010.

PIMENTEL, J. L.; COOK, M. E.; GREGER, J. L. Research note: bioavailability of zinc-methionine for chicks. **Poultry Science**, Cary, v. 70, p. 1637-1639, 1991a.

PINESE, M. E. **Puberdade em marrãs**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PLUMLEE, M. P.; THRASHER, D.M.; BEESON, W.M. et al. The effects of a manganese deficiency upon the growth, development, and reproduction of swine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 15, p. 352-367, 1956.

PLUSKE, J. R., Morphological and functional changes in the small intestine of the newly-weaned pig. In: PIVA, A.; BACH KNUDSEN, K. E.; LINDBERG, J. E. (Eds.), **Gut environment of pigs**. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 2001. p. 1-27,

PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J.; WILLIAMS, I. H. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. **Livestock Production Sciences**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 215-236, 1997.

PLUSKE, J. R.; PETHICK, D. W.; HOPWOOD, D. E. Nutritional influences on some major enteric bacterial diseases of pigs. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 15, p. 333–371, 2002.

PLUSKE, J. R.; WILLIAMS, I. H.; AHERNE, F. X. **Nutrition of neonatal pig: development and survival**. London: CAB International, 1995. p. 187-235.

POULSEN, H. D. Zinc oxide for weaned pigs. In: ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION 40., 1989, Dublin. **Proceedings...** Dublin, 1989. p. 265-266.

POULSEN, H. D. Zinc oxide for weanling piglets. **Acta Agriculture Scandinavica, Section A, Animal Science**, Stockholm, v. 45, p. 159–167, 1995.

POWER, R.; HORGAN, K. Biological chemistry and absorptiom of inorganic and organic trace metals. In: ALLTECH SYMPOSIUM. **Biotechnology in the feed industry: proceedings of Alltech's sixteenth annual symposium**. Nottingham: Nottingham University Press, Nottingham, 2000. p. 277-291.

PRASAD, A. S. Clinical, endocrinological and biochemical effects of zinc deficiency. **Clinical Endocrinology and Metabolism**, Maryland Heights, v. 14, p. 567-589, 1985.

PRASAD, A. S. Acquired zinc deficiency and immune dysfunction in sickle cell anemia. In: CUNNINGHAM-RUNDLES, S. (Ed.). **Nutrient modulation of the immune response**. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 393-410.

PULS, R. **Minerals levels in animal health: diagnostic data**. Canadá: Sherpa International, 1990.

PUPA J. M. R. et al. Níveis nutricionais utilizados nas dietas de suínos no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2., 2005, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2005. p. 349–374.

RAVIDRAN, V.; BRYDEN, W. L.; KORNEGAY, E. T. Phytates: occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. **Poultry and Avian Biology Reviews**, Herts, v. 6, n. 2, p. 125-143, 1995.

REDDY, N. R.; SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Phytates in legumes and cereals. **Advances in Food Research**, Maryland Heights, v. 28, p. 1-91, 1982.

RENNER, E. **Milk and dairy products in human nutrition**. [Heidelberg]: Volkswirtschaftlicher Verlag, 1983.

REVVY, P. S. et al. Bioavailability of two sources of zinc in weanling pigs. **Animal Research**, Cambridge, v. 51, p. 315-326, 2002.

REVVY, P. S. et al. Le zinc dans l'alimentation du porc: oligoélément essentiel et risque potentiel pour l'environnement. **INRA Productions Animales**, v. 16, p. 3-18, 2003.

RICHARDS, M. P. Zinc, copper, and iron metabolism during porcine fetal development. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v. 69, p. 27-44, 1999.

RICHARDS, M. P.; COUSINS, R. J. Mammalian zinc homeostasis: requirement for RNA and metallothionein synthesis. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Maryland Heights, v. 64, p. 1215-1223, 1975.

RICHERT, B. T. et al.: Effect of chelated trace minerals on nursery pig growth performance. **Kansas Swine Day**, Manhattan, p. 111, 1994.

RINCKER, M. J. et al. Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, p. 2762-2774, 2005.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos** (Tabela Brasileira). Viçosa: UFV, 2005. 186 p.

ROOT, A. W. et al. Effects of Zinc Deficiency Upon Pituitary Function in Sexually Mature and Immature Male Rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 109, p. 958-964, 1979, 1979.

RUPIC, V. et al. Influence of inorganic and organic dietary zinc on zinc concentration in blood serum, bones and hair and on catalytic activity of some serum enzymes in pigs. **Acta Veterinaria Brno**, Brno, v. 66, p. 7-17, 1997.

RUTHERFURD, S. M. et al. Effect of microbial phytase on ileal digestibility of phytase phosphorus, total phosphorus, and amino acids in a low-phosphorus diet for broilers. **Poultry Science**, Cary, v. 83, p. 61-68, 2004.

SALIH, Y. et al. Mineral content of milk, colostrum, and serum as affected by physiological state and mineral supplementation. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 70, p. 608-612, 1987.

SANDSTEAD, H. H. Fiber, phytates and mineral nutrition. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 50, p. 30-31, 1992.

SANTOS, W. G. et al. Efeito da manose como prebiótico sobre a morfologia intestinal (relação vilosidade/cripta) de leitões na fase de creche. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife: **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. CD-ROM.

SCANDOLERA, A. J.; THOMAZ, M. C.; KRONKA, R. N. Efeitos de Fontes Protéicas na Dieta sobre a Morfologia Intestinal e o Desenvolvimento Pancreático de Leitões Recém-Desmamados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2355-2368, 2005.

SCHELL, T. C.; KORNEGAY, D. H. Zinc concentration in tissues and performance of weanling pigs fed pharmacological level of zinc from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine or ZnSO₄. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, n. 7, p. 1584-1593, 1996.

SCHIFFMAN, S. S. et al. Workshop on health effects of odors. In: **Proc. Animal Production Systems and the Environment**, Des Moines, IA, 1998. v. 1, p. 402-412.

SCHRYVER, H. F. et al. Lactation in the horse: the mineral composition of mare milk. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 116, p. 2142-2147, 1986.

SHELTON, J. L. et al. Effect of microbial phytase addition with or without the trace mineral premix in nursery, growing, and finishing pig diets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, p. 376-385, 2005.

SIGEL, H. Categories of zinc metalloenzymes. In: SIGEL, H. **Metal ions in biological systems**. New York: Marcel Dekker Inc, 1983. p. 1-47.

SILVA, B. A. N. et al. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos sintéticos em ração para porcas em lactação. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 44-47, jul./ago. 2004.

SILVA, B. A. N. Nutrição de fêmeas suínas de alta performance reprodutiva nos trópicos. *Revista Suino & Cia, Paulínia*, v. 6, n. 37, p. 10-35, 2010.

SIMIONATTO, S. et al. Desenvolvimento e avaliação de novas estratégias de imunização contra colibacilose suína. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 84-90, abr./jun., 2005.

SIMMEN, F. A. et al. Differential expression, during the estrous cycle and pre- and post-implantation conceptus development, of messenger ribonucleic acids encoding components of the pig uterine insulin-like growth factor system. **Endocrinology**, Chevy Chase, v. 130, p. 1547-1556, 1992.

SOBESTIANSKY, J. et al. **Clínica e patologia suína**. 2. ed. Goiânia: O Autor, 1999. p. 71-75, 1999.

SPEARS, J. W.; ARMSTRONG, J. A.; VAN HEUGTEN, E. Effect of dietary zinc source and level on performance, zinc status and immune response of nursery pigs. In: NORTH CAROLINA WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM, North Carolina State University, Raleigh, USA, 1999. **Proceedings...** Raleigh, 1999. p. 376-382.

SPEARS, J. W. Zinc methionine for ruminants: Relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 67, p. 835-843, 1989.

SPEARS, J. W.; FLOWERS, W. L. **Effect of metal proteinates on baby pig growth and survival and sow reproductive performance**. Technical report. Chelated Minerals Corp. Salt Lake City, UT 84127, 1995.

SPEARS, J. W.; KEGLEY, E. B.; WARD, J. D. Bioavailability of organic, inorganic trace minerals explored. **Feedstuffs**, Minnetonka, November, p. 12-20, 1991.

SPRAY, C. M.; WIDDOWSON, E. M. The effect of growth and development on the composition of mammals. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 4, p. 332-352, 1950.

STALDER, K. J. et al. Reducing the environmental impact of swine production through nutritional means. In: ANNUAL SYMPOSIUM ALLTECH'S 20., 2004, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: Nottingham University Press, 2004. p. 149-157.

STARCHER, B. C.; GLAUBER, J. G.; MADARAS, J. G. Zinc absorption and its relationship to intestinal metallothionein. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 110, p. 1391-1397, 1980.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill Book Computer, 1980. 633 p.

SULLIVAN, V. K.; COUSINS, R. J. Competitive reverse transcriptase-polymerase chain reaction shows that dietary zinc supplementation in humans increases monocyte metallothionein mRNA levels. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 127, p. 694-698, 1997.

SUSAKI, H. et al. Availability of a zinc amino acid chelate for growing pigs. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 70, p. 124-128, 1999.

SWINKELS, J. W. G. M.; KORNEGAY, E. T.; VERSTEGEN, M. W. A. Biology of zinc and biological value of dietary organic zinc complexes and chelates. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 7, p. 129-149, 1994.

SWINKELS, J. W. G. M. et al. Effectiveness of a zinc amino acid chelate and zinc sulfate in restoring serum and soft tissue zinc concentrations when fed to zinc-depleted pigs. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 74, p. 2420-2430, 1996.

SZCZUREK, E. I.; BJORNSSON, C. S.; TAYLOR, C. G. Dietary zinc deficiency and repletion modulate metallothionein immunolocalization and concentration in small intestine and liver of rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, p. 2132-2138, 2001.

TAKO, E.; FERKET, P. R.; UNI, Z. Changes in chicken intestinal zinc exporter mRNA expression and small intestinal functionality following intra-amniotic zinc-methionine administration. **Journal of Nutritional Biochemistry**, New York, v. 16, p. 339-346, 2005.

TODD, W. R.; ELVEHJEM, C. A.; HART, E. B. Zinc in the nutrition of the rat. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 107, p. 146-156, 1934.

TORRE, M.; RODRIGUEZ, A. R.; SAURA-CALIXTO, F. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 1, p. 1-22, 1991.

TRAN, C. D. et al. Regional distribution and localization of zinc and metallothionein in the intestine of rats fed diets differing in zinc content. **Scandinavian Journal of Gastroenterology**, London, v. 34, p. 689-695, 1999.

TUCKER, H. F.; SALMON, W. D. Parakeratosis or zinc deficiency disease in the pig. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 88, p. 613-616, 1995.

U.S. EPA/USDA, Unified National Strategy for Printing Office Operations. **Fed. Reg. 63**, 1998. p. 5019250209.

UNDERWOOD, E. J. **The mineral nutrition of livestock**. 2. ed. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981. 179 p.

VALLEE, B. L.; AULD, D. S. Active-site zinc ligands and activated H₂O of zinc enzymes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 87, p. 220-224, 1990.

VALLEE, B. L.; GALDES, A. The metallobiochemistry of zinc enzymes. In: MEISTER, A. (Ed.). **Advances in enzymology**. New York: John Wiley and Sons, 1984. p. 283-429.

VAN HEUGHTEN, E. et al. Effects of organic forms of zinc on growth performance, tissue zinc distribution, and immune response of weanling pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, p. 2063–2071, 2003.

VAN LUNEN, T. A.; COLE, D. J.A. Growth and body composition of highly selected boars and gilts. **Animal Science**, Cambridge, v. 67, p. 107, 1998.

VERMA, P. C. et al. Effect of experimental zinc deficiency and repletion on some immunological variables in guinea-pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 59, p. 149-154, 1988.

VIVEROS, A. et al. Effects of microbial phytase supplementation on mineral utilization and serum enzyme activities in broiler chicks fed different levels of phosphorus. **Poultry Science**, Cary, v. 81, p. 1172-1183, 2002.

VOHRA, P.; GRAY, G. A.; KATZER. Phytic acid-metal complexes. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 120, p. 447-449, 1965.

VRUWINK, K. G. et al. The effect of experimental zinc deficiency on development of the immune system. In: CUNNINGHAM-RUNDLES, S. (Ed.). **Nutrient modulation of the immune response**. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 263-279, 1993.

WANG, Y. et al. Dietary zinc glycine chelate on growth performance, tissue mineral concentrations, and serum enzyme activity in weanling piglets. **Biological Trace Element of Research**, Totawa, v. 133, p. 325-334, 2010.

WAPNIR, R. A.; STIEL, L. Zinc intestinal absorption in rats: Specificity of amino acids as ligands. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 116, p. 2171–2179, 1986.

WARD, T. L. et al. Zinc methionine improved growth performance of starter pigs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, suppl. 1, abstr. 182, 1996.

WAUBEN, I. P.; XING, H. C.; WAINWRIGHT, P. E. Neonatal dietary zinc deficiency in artificially reared rat pups retards behavioral development and interacts with essential fatty acid deficiency to alter liver and brain fatty acid composition. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 129, p. 1773- 1781, 1999.

WEDEKIND, K.J.; D.H. BAKER. Zinc bioavailability in feed-grade zinc sources. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 67, suppl. 2, p. 126, 1989.

WEDEKIND, K. J.; HORTIN, A. E.; BAKER, D. H. Methodology for assessing zinc bioavailability: Efficacy estimated for zinc-methionine, zinc sulfate and zinc oxide. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 70, p. 178-187, 1992.

WEDEKIND K.J.; LEWIS A.J.; GIESEMANN, M.A. et al. Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn soy-bean meal diets. **Journal Animal Science**, Savoy, v. 72, p. 2681-2689, 1994.

WHITTEMORE, C. T.; CLOSE, W. H.; HAZZLEDINE, M. J. The need for nutrient requirement standars for pigs. **Pig News and Information**, Oxfordshire, v. 23, p. 67N-74N, 2002.

WILMUT, I.; SALES, D. I.; ASHWORTH, C. J. Maternal and embryonic factors associated with prenatal loss in mammals. **Journal of Reproduction and Fertility**, New Delhi, v. 76, p. 851–864, 1986.

WINDISCH, W. et al. Effect of pharmacological dietary doses of zinc oxide on performance and fecal characteristics of weanling piglets. **Agrobiological Research – Zeitschrift für Agrarbiologie Agrikulturchemie Ökologie**, Darmstadt, v. 51, p.277–285, 1998.

WISE, A. Dietary factors determining the biological activity of phytates. **Reviews in Clinical Nutrition**, Oxfordshire, v. 53, p. 791-806, 1983.

WU, C. et al. Reducing pharmacological level of copper and zinc in nursery pig diets: response to zinc and copper proteinates. In: ANNUAL SYMPOSIUM ALLTECH BIOTECHNOLOGY IN THE FEED INDUSTRY, 17., 2001, Nottingham University, UK. **Proceedings...** Loughborough, UK: Nottingham University, 2001. p. 285-295.

YI, Z.; KORNEGAY, E. T.; DENBOW, D. M. Supplemental microbial phytase improves zinc utilization in broilers. **Poultry Science**, Cary, v. 75, p. 540-546, 1996.

ZAPF, J.; FROESCH, E. R. Insulin-like growth factor/somatomedins structure, secretion, biological actions and physiological role. **Hormone Research**, Basel, v. 24, p. 121-30, 1986.