



CAROLINA DIAS FERNANDES

**FONTES DE ZINCO E FIBRA DIETÉTICA EM RAÇÕES DE
LEITÕES DESMAMADOS: DESEMPENHO E SAÚDE
INTESTINAL**

LAVRAS – MG

2016

CAROLINA DIAS FERNANDES

**FONTES DE ZINCO E FIBRA DIETÉTICA EM RAÇÕES DE LEITÕES
DESMAMADOS: DESEMPENHO E SAÚDE INTESTINAL**

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

Orientador:

Dr. Vinícius de Souza Cantarelli

Coorientadores:

Dr. Marvio Lobão Teixeira Abreu

Dr. Rony Antonio Ferreira

LAVRAS – MG

2016

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

Fernandes, Carolina Dias.

Fontes de zinco e fibra dietética em rações de leitões
desmamados: desempenho e saúde intestinal / Carolina Dias

Fernandes. – Lavras : UFLA, 2016.

49 p.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Vinícius de Souza Cantarelli.

Bibliografia.

1. Suínos. 2. Aditivos. 3. Desmame. 4. Diarreia. 5. Jejuo. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CAROLINA DIAS FERNANDES

**FONTES DE ZINCO E FIBRA DIETÉTICA EM RAÇÕES DE LEITÕES
DESMAMADOS: DESEMPENHO E SAÚDE INTESTINAL**

**ZINC SOURCES AND DIETARY FIBERS IN WEANING PIGLETS DIETS:
PERFORMANCE AND INTESTINAL HEALTH**

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

APROVADA em 12 de setembro de 2016

Dr. Vinícius de Souza Cantarelli, UFLA

Dr. Marvio Lobão Teixeira Abreu, UFLA

Dr. Rony Antonio Ferreira, UFLA

Dr. Leandro Batista Costa, PUCPR

Prof. Dr. Vinícius de Souza Cantarelli

LAVRAS – MG

2016

*A Deus, por todas as oportunidades
que colocou em minha vida, sempre
me guiando e abençoando durante
esta caminhada.*

*Aos meus pais, Edson e Rosimary,
por todos os ensinamentos, pelo amor,
companheirismo, pela dedicação e força.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao departamento de Zootecnia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante o período de estudos.

Ao meu orientador, Dr. Vinícius de Souza Cantarelli, pelos ensinamentos, por todo o conhecimento compartilhado, pela dedicação, confiança e orientação.

À empresa Biosen, pela parceria e confiança na realização desse projeto.

Aos professores Marvio Lobão Teixeira Abreu e Rony Antonio Ferreira, pela coorientação.

Ao professor Leandro Batista Costa, por ter aceitado o convite para participar da banca de defesa da dissertação.

Aos colegas do NESUI, que desde 2010 me ajudam nessa caminhada, sempre parceiros de trabalho e de amizade, em especial ao Athos, pelo companheirismo na etapa final, Marseile, Débora, Jéssica, Evandro, Cesar, Hebert, Renato, Thiago, Luiz Gustavo, Fernando, Giane, Rhuan, Ítalo, Sudário, Marlon, Rafael, Túlio, Bruna, Arthur, Marina, Tatyany, Leonardo e Eloiza.

As minhas “irmãs” de mestrado, Maíra e Letícia, por passarmos juntas por todas as dificuldades, sempre contanto uma com a outra.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Zootecnia.

BIOGRAFIA

Carolina Dias Fernandes, nascida em 05 de janeiro de 1989, em São Bernardo do Campo, São Paulo. Filha de Edson Godinho Fernandes e Rosimary Ortigozo Dias Fernandes.

Foi criada no município de Pouso Alegre, Minas Gerais, onde concluiu o ensino médio.

Em agosto de 2008 ingressou na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde obteve a graduação em Medicina Veterinária, em agosto de 2014.

Em agosto de 2014 iniciou o mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Lavras, onde concentrou seus estudos em produção e nutrição de animais monogástricos.

Em setembro de 2016 submeteu-se à defesa de dissertação, para a obtenção do título de Mestre.

RESUMO GERAL

Os aditivos são importantes alternativas para melhorar a saúde intestinal de leitões. Objetivou-se avaliar o impacto do óxido de zinco e do zinco encapsulado, associados ou não a fibras dietéticas sobre o desempenho e a saúde intestinal de leitões na fase de creche. O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 140 leitões machos castrados desmamados aos 21 dias, com peso de $5,32 \pm 1,31$ kg, alojados nas instalações de creche e divididos em 35 baias com quatro animais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos: 1) Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72% (CN); 2) Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias (OZ); 3) Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias (OZ+F); 4) Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias (ZE); 5) Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias (ZE+F), e sete repetições, com a parcela experimental representada pela baia. No sexto e sétimo dia de experimento, todos os animais foram desafiados com *E. coli* K88⁺ (1 mL, 10^6 UFC/mL em cada dia). Os animais foram pesados ao início, aos 6, 14, 21, 28 e 42 dias de experimento para avaliação do desempenho e uma vez ao dia foi realizada a avaliação do escore fecal para determinar a incidência de diarreia. Foi realizado o abate de um animal por unidade experimental, quatorze dias após a inoculação, para as avaliações da produção de ácidos graxos voláteis, população microbiana, morfologia intestinal e digestibilidade. A partir das análises de desempenho, foi observado um menor consumo dos animais do tratamento ZE aos 6 dias ($P < 0,05$). Em relação à incidência de diarreia, o tratamento OZ teve menor índice em relação ao tratamento ZE. Nas demais variáveis de desempenho não foi encontrado efeito dos tratamentos. Os resultados das análises microbiológicas, de ácidos graxos voláteis e histológicas não foram influenciados pelos tratamentos. Dessa forma, o óxido de zinco 72% é eficiente no controle da diarreia pós-desmame, ao contrário do zinco encapsulado, que só proporciona um bom desempenho aos animais quando associado a fibras dietéticas.

Palavras-chave: Suínos. Aditivos. Histologia. Diarreia. Jejuno. Desmame.

ABSTRACT

Additives are an important alternative for improving intestinal health of piglets. This study aimed to assess the impact of zinc oxide and encapsulated zinc, associated or not with dietary fiber on performance and intestinal health of piglets in nursery phase. The experiment was conducted at the Animal Science Department of the Federal University of Lavras. In the experiment it was used 140 barrows weaned at 21 days, with a weight of 5.32 ± 1.31 kg, housed in daycare facilities and divided into 35 bays with four animals. The experimental design was in randomized blocks, with five treatments: 1) Negative control supplemented with 139 ppm ZnO (72% Zn) (CN); 2) basal diet with ZnO (72% Zn) supplemented with 2500 ppm from 21 to 35 days and 1500 ppm from 36 to 63 days (OZ); 3) Basal feed with ZnO (72% Zn) and dietary fiber, supplemented with 2500 ppm ZnO and 8000 ppm dietary fiber from 21 to 35 days, 1500 ppm ZnO and 6000 ppm dietary fiber from 36 to 49 and 1500 ppm ZnO from 50 to 63 days (OZ + F); 4) basal diet supplemented with 800 ppm encapsulated Zn from 21 to 35 days and 500 ppm encapsulated Zn from 36 to 63 days (ZE); 5) basal diet supplemented with 8000 ppm dietary fiber and 800 ppm encapsulated Zn from 21 to 35 days, 6000 ppm dietary fiber and 500 ppm encapsulated Zn the 36 to 49 days and 500 ppm encapsulated Zn from 50 to 63 days (ZE + F), and seven repetitions with the bays as experimental plots. In the sixth and seventh day of the experiment, all animals were challenged with *E. coli* K88⁺ (1 mL, 10^6 CFU/mL for each day). The animals were weighed at the beginning and at 6, 14, 21, 28 and 42 days of experiment to assess the performance and once a day there was the evaluation of fecal score to determine the incidence of diarrhea. One animal per experimental unit was slaughtered at fourteen days after inoculation to evaluate the production of volatile fatty acids, microbial population, intestinal morphology and digestibility. The performance analysis showed lower consumption of the animals in the ZE treatment at 6 days ($P < 0.05$). Regarding the incidence of diarrhea, the OZ treatment had a lower rate when compared to the ZE treatment. It was not found effect of treatments in the other variables of performance. The results of microbiological analysis of volatile fatty acids and histology were not affected by treatments. Thus, the zinc oxide 72% is effective in the control of post-weaning diarrhea, unlike the encapsulated zinc, which only provides a good performance of the animals when associated with dietary fibers.

Keywords: Swine. Additives. Histology. Diarrhea. Jejunum. Weaning.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de temperaturas e Índice de Temperatura e Umidade.....	28
Tabela 2. Composição centesimal e valores nutricionais das dietas utilizadas nas diferentes fases do experimento.....	29
Tabela 3. Tratamentos experimentais.....	30
Tabela 4. Efeito das dietas experimentais sobre o peso (kg), consumo de ração diário – CRD (kg), ganho de peso diário – GPD (kg) e conversão alimentar – CA.....	34
Tabela 5. Efeito das dietas experimentais sobre a incidência de diarreia – ID (%).	36
Tabela 6. Efeitos das dietas experimentais sobre a produção de ácidos graxos voláteis no ceco (nM).39	
Tabela 7. Efeito das dietas experimentais sobre a altura de vilosidade - AV (μm), profundidade de cripta - PC (μm) e relação altura de vilosidade/profundidade de cripta – AV/PC.	40
Tabela 8. Efeito dos tratamentos sobre o coeficiente de digestibilidade da matéria seca – CDMS e o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta – CDA (PB).....	42

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 O desmame dos leitões como um período crítico.....	12
2.2 A fase de creche dos leitões	13
2.3 Óxido de zinco para leitões na fase de creche.....	14
2.4 Zinco encapsulado para leitões em fase de creche	15
2.5 Fibras dietéticas para leitões em fase de creche	17
2.6 Associação entre zinco encapsulado e fibras para leitões em fase de creche.....	18
3. CONSIDERAÇÕES GERAIS	20
REFERÊNCIAS	21
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	24
1. INTRODUÇÃO.....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
<i>Animais, instalações e dietas experimentais</i>	28
<i>Delineamento experimental</i>	30
<i>Procedimentos experimentais</i>	30
<i>Desempenho e incidência de diarreia</i>	31
<i>Morfologia do jejuno</i>	32
<i>Digestibilidade</i>	32
<i>Microbiologia</i>	33
<i>Ácidos graxos voláteis</i>	33
<i>Análise estatística</i>	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A carne suína é a proteína de origem animal mais consumida no mundo, e diante disso e do constante aumento populacional, há uma perspectiva de aumento na demanda de alimentos pela população, que leva à necessidade de uma produção cada vez mais eficiente.

O desmame é um período crítico para o leitão, sendo um dos pontos que mais trazem prejuízos ou reduzem a lucratividade dos produtores. Nesse momento os leitões apresentam uma falha no desenvolvimento, que pode ser caracterizada por um período sem ganho, ou até mesmo com perda de peso.

Isso acontece devido ao estresse causado aos animais, pois no momento do desmame os leitões precisam se adaptar a uma realidade muito diferente da que encontravam durante a fase de maternidade, como a mudança na dieta, do leite para a ração sólida, o restabelecimento da hierarquia, novas instalações, microclima e carga de patógenos.

Todos esses pontos podem levar os leitões a desencadear um quadro conhecido como diarreia pós-desmame ou colibacilose pós-desmame, já que um de seus principais agentes infecciosos é a *Escherichia coli*.

Diante desse problema, buscam-se soluções para minimizar os impactos fisiológicos e econômicos causados pelo desmame, como, por exemplo, os aditivos antimicrobianos que vêm sendo estudados com o intuito de sanar tais problemas e até mesmo melhorar o desempenho dos leitões por meio de sua atuação em diferentes pontos estratégicos, por exemplo, na acidificação estomacal e na função de barreira intestinal.

A saúde intestinal dos leitões é fundamental para que eles consigam aproveitar ao máximo os nutrientes presentes nos alimentos, e evitar as perdas causadas pelos agentes patogênicos e pela diarreia pós-desmame.

O óxido de zinco é conhecido por ser eficiente em controlar a diarreia pós-desmame em leitões, porém, seu uso em grandes dosagens pode interferir na palatabilidade da ração e aumentar a poluição ambiental, por isso já está restrito em alguns países da Europa.

O zinco encapsulado pode possibilitar o mesmo efeito do convencional com doses consideravelmente menores, dessa forma resolvendo os problemas da palatabilidade e da excreção do óxido de zinco.

As fibras dietéticas também podem auxiliar no controle da diarreia, ao modificar o perfil da microbiota intestinal, favorecendo o aumento de populações bacterianas benéficas em detrimento das patogênicas. Seria interessante se os efeitos tanto do zinco quanto das fibras, usados como aditivos, atuassem de forma aditiva e promovessem um aumento na saúde intestinal dos leitões.

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o impacto do óxido de zinco e do zinco encapsulado, associados ou não a fibras dietéticas sobre o desempenho e a saúde intestinal de leitões na fase de creche desafiados com *Escherichia coli* K88⁺.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O desmame dos leitões como um período crítico

O momento do desmame é bastante estressante para os leitões. A dieta deixa de se constituir do leite materno para ser uma dieta sólida. Os animais precisam se adaptar às novas instalações e a uma alteração social, sendo necessário reestabelecer uma hierarquia. Ainda, concomitantemente a esses processos, ocorre um desafio imunológico causado pelo contato com novos patógenos.

No primeiro dia de creche, é normal que os animais não consumam ração, o que é prejudicial ao seu desenvolvimento. Horn et al. (2014), relatam que um jejum hídrico e alimentar de 24 horas por ocasião do desmame, leva a impactos negativos sobre o desempenho e características intestinais como, por exemplo, redução na altura de vilosidades no jejuno.

Fora isso, existe o fato de que ao desmame, o TGI (trato gastrintestinal) dos leitões ainda é imaturo e preparado para absorver somente os nutrientes altamente disponíveis do leite. Ainda não há secreção enzimática adequada à digestão de alimentos sólidos (JENSEN; JENSEN; JAKOBSEN, 1997), e também não há plena capacidade de regular o pH estomacal e intestinal (GUELER et al., 2009).

Durante a lactação, o pH estomacal é mantido baixo devido à facilidade em se fermentar a lactose. Com a redução da lactose na dieta e a inabilidade em produção de ácido clorídrico, o pH estomacal dos leitões se eleva, favorecendo o desenvolvimento de bactérias patogênicas no TGI.

Essas bactérias atuam de forma a agravar um típico problema que acontece na transição para a creche, a síndrome da diarreia pós-desmame (SDPD), também conhecida como colibacilose pós-desmame. As cepas de *Escherichia coli* enterotoxigênicas são os principais agentes, embora possa haver outros, sua ocorrência está associada a fatores nutricionais, de manejo e de ambiente (LIMA; MORÉS; SANCHES, 2009).

Colaborando com esse quadro está o fato de que, o desmame precoce aumenta a expressão de genes que promovem estresse oxidativo e a ativação imune no intestino delgado, mas reduz a expressão de genes que são relacionados à utilização de nutrientes e à proliferação celular (WANG et al., 2008). Ocorre ainda uma redução na altura e largura das vilosidades intestinais e na atividade de enzimas digestivas.

Inúmeros estudos (GUELER et al., 2009; KIARIE et al., 2010; LIU et al., 2013) vêm sendo realizados na tentativa de reduzir o impacto causado pela SDPD, por meio de estratégias nutricionais que visam promover melhorias na saúde intestinal dos leitões e, conseqüentemente, melhorar o aproveitamento dos nutrientes da ração.

Nesse sentido, vem sendo estudado o uso de aditivos que minimizem essa situação, como prebióticos (AUFREITER; KIM; CONNOR, 2011), probióticos (KREUZER et al., 2011), aminoácidos (LIU et al., 2013) entre outros. Os antibióticos também são usados como melhoradores de desempenho, porém, há uma tendência de que seu uso seja banido.

2.2 A fase de creche dos leitões

A saída do leitão da maternidade para a creche é o momento mais crítico dessa fase. O animal permanece em média por 44 dias nessas instalações, ou seja, até que tenha aproximadamente 65 dias de vida.

Portanto, alterações fisiológicas importantes acontecem ao longo desse período, e por isso, é bastante comum que durante essa fase sejam fornecidos três ou até mais dietas, para que ocorra uma adaptação gradual.

Tendo em vista essa adaptação, as dietas para leitões desmamados são ricas em lactose, um dos principais constituintes do leite materno, que é em grande parte fermentada e assim é produzido ácido láctico. O lactato serve como substrato para a produção de propionato e n-butarato (STARKE et al., 2013), que são uma importante fonte de energia.

A nutrição é responsável por aproximadamente 70% do custo de produção dos suínos (ONTARIO MINISTRY OF FOOD, AGRICULTURE AND RURAL AFFAIRS - OMAFRA, 2012), em especial as rações fornecidas durante a fase de creche são mais caras, pois precisam ser constituídas por alimentos de alta qualidade, com alta digestibilidade, que possibilitam maior crescimento dos animais (JONES et al., 2010), pois os leitões ainda possuem capacidade digestiva e absorviva reduzidas (KIM et al., 2003).

Tendo em vista esses fatores, é muito importante que os leitões consigam absorver e utilizar ao máximo os nutrientes advindos das dietas, para justificar seu custo, e suprir as necessidades apresentadas diante de todos os desafios que enfrentam na creche. Nem sempre esse quadro é favorável, porém, um período de taxa de crescimento reduzida ao desmame pode ser seguida por um ganho compensatório se for trabalhado um bom programa nutricional (WOLTER et al., 2003).

Ao desmame, a queda no consumo causa uma restrição proteica e energética ao animal, essa restrição acaba por reduzir a quantidade de T₃ (triodotironina) e IGF-1 (insulin-like growth factor 1) circulantes. Isso prejudica o crescimento, porém, quando ocorre a adequação nutricional, os níveis de IGF-1 podem subir drasticamente, levando a um aumento no ganho de peso e na deposição de tecido magro (MARTINEZ-RAMIREZ; JEAUROND; DE LANGE, 2009).

2.3 Óxido de zinco para leitões na fase de creche

Ao desmame, a concentração plasmática de zinco é reduzida (DAVIN et al., 2013). O óxido de zinco pode ser utilizado na dieta de leitões para melhorar a saúde intestinal dos animais, ao atuar em diferentes pontos do trato gastrointestinal. Pode ser considerado até mesmo como uma alternativa ao uso de antibióticos, contudo, uma das desvantagens de seu uso é a palatabilidade. Quando há a possibilidade de escolha, leitões evitam consumir a ração com altas concentrações de óxido de zinco (REYNOLDS; FORBES; MILLER, 2010).

Além de melhorar o desempenho de leitões desmamados, o fornecimento de Óxido de Zinco também beneficia a morfologia intestinal desses animais, ao aumentar a densidade de vilos no duodeno, jejuno e íleo, e a altura de vilosidades no jejuno e íleo (KWON et al., 2014).

De acordo com Hu et al. (2014), a melhora no desempenho dos leitões se dá pelo aumento no consumo e ganho de peso diários, porém sem alterar a eficiência alimentar, ocorre ainda um aumento na altura das vilosidades intestinais e uma redução na quantidade de citocinas pró-inflamatórias no intestino.

O óxido de zinco pode alterar o perfil bacteriano do intestino, e atualmente é aceito o fato de que as bactérias entéricas desempenham um papel importante durante o amadurecimento dos animais, tanto em situações de saúde quanto em situações em que são acometidos por doenças (SEKIROV et al., 2010).

A utilização do óxido de zinco é conhecida por sua ação benéfica contra a diarreia pós-desmame, que tem como seu principal agente a *E. coli*, embora estudos recentes vêm demonstrando que o efeito do óxido de zinco sobre a composição microbiana do TGI não se trata necessariamente em reduzir a quantidade de *E. coli*.

O óxido de zinco na concentração de 2425 ppm, segundo Starke et al. (2013), reduz a quantidade de *Lactobacillus spp.* no trato gastrointestinal de leitões, principalmente no estômago e intestino delgado, e conseqüentemente reduz também a produção de lactato.

Além da redução de *Lactobacillus spp.* no estômago e intestino delgado, ocorre ainda um aumento das populações de *Clostridium spp.* e de bactérias da ordem Enterobacteriales, inclusive do gênero *Escherichia*, no intestino delgado.

Provavelmente, o aumento dessas populações gera competição com as cepas patogênicas, dessa forma favorecendo o leitão e diminuindo a diarreia. Essas alterações na microbiota são mais acentuadas na primeira semana de uso do ZnO, período em que seu uso é benéfico. Um fornecimento mais prolongado pode trazer prejuízos em decorrência da diminuição de *Lactobacillus spp.* (STARKE et al., 2014).

Por outro lado, o fornecimento de uma dieta com alta concentração de zinco por quatro semanas aumenta a atividade das enzimas pancreáticas α -amilase, lipase, tripsina e quimiotripsina, embora possa favorecer a ocorrência de estresse oxidativo no pâncreas (PIEPER et al., 2015), já a deficiência de zinco prejudica a excreção das enzimas pancreáticas e a digestibilidade da dieta (BRUGGER; WINDISCH, 2016).

Há ainda a questão nutricional, de que após o desmame os leitões podem apresentar uma redução na concentração plasmática de zinco, que é um mineral sabidamente importante para as atividades de diversos tecidos, embora seu metabolismo ainda não seja totalmente elucidado. Essa deficiência pode ser suprida com o fornecimento de doses terapêuticas de óxido de zinco na dieta (DAVIN et al., 2013).

2.4 Zinco encapsulado para leitões em fase de creche

Pequenas concentrações de óxido de zinco seriam capazes de promover um efeito benéfico contra a diarreia em leitões, porém, ao passar pelo estômago, a maior parte do ZnO é dissociada em Zn livre perdendo seu efeito, e por isso se faz necessário o uso de altas doses de óxido de zinco (SHEN et al., 2014).

O óxido de zinco utilizado em altas concentrações na dieta, em torno de 2000 a 3000 ppm, possui um bom efeito antibacteriano e como melhorador de desempenho, porém, um dos problemas da utilização desse aditivo é a sua alta excreção no ambiente, já que ele é pouco absorvido pelo organismo (HILL et al., 2001).

A Europa, devido à questão ambiental, já definiu como limite máximo, a inclusão de 150 ppm de óxido de zinco na dieta, e esse limite também pode ser adotado por outros países futuramente. Uma alternativa que vem sendo estudada é o uso de zinco encapsulado, que pode reduzir a sua inclusão na dieta.

A cápsula lipídica que reveste o zinco favorece sua passagem pelo estômago sem que sofra ionização liberando-o no intestino, quando a lipase digere a cápsula.

O uso de óxido de zinco revestido, mesmo em baixas concentrações, pode reduzir o índice de diarreia ao promover o desenvolvimento intestinal, proteger a barreira intestinal, estimular o sistema imunológico e regular a microbiota do lúmen intestinal (SHEN et al., 2014).

Kwon et al. (2014), ao comparar o fornecimento de 100 ppm de óxido de zinco encapsulado a 2500 ppm de óxido de zinco convencional para animais desmamados aos 28 dias e desafiados com *E. coli* K88⁺, observaram que ambos apresentaram o mesmo ganho de peso diário (GPD), mesmo peso final, e no duodeno apresentaram a mesma altura de vilosidades, profundidade de cripta e relação vilosidade/cripta.

Ao comparar esses dois tratamentos ao fornecimento de 100 ppm de óxido de zinco convencional (controle), os dois primeiros apresentaram GPD, altura de vilosidades e relação vilosidade/cripta superiores ao tratamento controle.

Em contraste a esses resultados, Jang et al. (2014), realizaram um estudo com leitões desmamados aos 21 dias de idade, que receberam diferentes níveis de óxido de zinco convencional (100 e 2500 ppm) comparados a diferentes níveis de óxido de zinco encapsulado (100 e 250 ppm), os animais não foram desafiados.

Os autores concluíram que nem 2500 ppm de óxido de zinco, nem os diferentes níveis de óxido de zinco encapsulado possuem efeito sobre o desempenho, consistência fecal, morfologia das vilosidades e atividades enzimáticas.

Kim et al. (2015), verificaram que a inclusão de 100 ppm de óxido de zinco encapsulado tem efeito semelhante à inclusão de 2500 ppm do óxido de zinco convencional, e que ambos são melhores do que o controle (100 ppm de óxido de zinco convencional) sobre o desempenho, diarreia e morfologia intestinal, quando fornecidos a leitões desmamados aos 25 dias e desafiados com *E. coli* K88⁺.

2.5 Fibras dietéticas para leitões em fase de creche

Nos suínos, a maioria dos nutrientes é absorvida no intestino delgado. Já no intestino grosso, apenas ácidos graxos de cadeia curta e algumas vitaminas podem ser absorvidos. Alimentos não digeridos como fibras, lipídeos de alto ponto de fusão e proteínas insolúveis são fermentados por microrganismos, podendo contribuir para o fornecimento de energia ao animal (WENK et al., 2001).

Fibras dietéticas são oligossacarídeos e polímeros de carboidratos que não são hidrolisados por enzimas endógenas no intestino delgado (TURNER; LUMPTON, 2011), podem ser classificadas quanto à solubilidade em solúveis ou insolúveis (ASP et al., 1996).

Fibras insolúveis reduzem o tempo de passagem da digesta, dessa forma, podem reduzir a proliferação de agentes patogênicos no lúmen intestinal (HEO et al., 2013). Já a inclusão de fibras solúveis pode acarretar em efeitos negativos após o desmame, pois ocorre um aumento na viscosidade da digesta, que leva à esfoliação da mucosa intestinal e atrofia das vilosidades (SCHIAVON et al., 2004).

As fibras estão presentes na dieta pós-desmame, quando o leitão passa a se alimentar de dietas com base em produtos de origem vegetal. Embora a quantidade de fibra bruta na dieta possa, em alguns casos, não impactar o desempenho de leitões desmamados (CHEN et al., 2014; PIEPER et al., 2012), ainda assim pode exercer funções importantes relacionadas à saúde intestinal.

Um importante papel desempenhado pelas fibras é a modulação da microbiota intestinal. Por exemplo, o uso de chicória e *Plantago* na dieta de leitões desmamados altera a quantidade de *Lactobacillus*, *Treponema* e *Prevotella*, e conseqüentemente altera também a digestibilidade dos componentes da dieta (DICKSVED; JANSSON; LINDBERG, 2015).

Fibras insolúveis podem reduzir a contagem de *Escherichia coli* no intestino delgado devido à sua propriedade de bloquear a adesão dessa bactéria aos receptores da mucosa intestinal de leitões (MOLIST et al., 2014).

Ao alterar a microbiota, por exemplo, reduzindo a população de *E. coli* no intestino, as fibras podem também levar à ocorrência de melhorias na morfologia intestinal, como um aumento na densidade de vilos e, por conseqüência, os animais apresentam melhor desempenho na fase pós-desmame (PASCOAL, 2015).

O farelo de trigo possui grande porcentagem de fibras insolúveis em sua composição, sua inclusão na ração como fonte de fibra aumenta a relação vilosidade/crípta e a quantidade de células caliciformes no intestino delgado (CHEN et al., 2014).

Em relação à fermentação, a de polissacarídeos não amiláceos insolúveis e oligossacarídeos se inicia no íleo, já os polissacarídeos não amiláceos solúveis, por reterem mais água, são fermentados na porção mais distal do intestino (FREIRE et al., 2000).

Indiretamente, fibras fermentáveis aumentam a fermentação ileal e pós-ileal, assim, regulam a microbiota e podem aumentar a concentração dos ácidos graxos voláteis, como acetato e propionato, podendo ter um efeito importante sobre o metabolismo (PIEPER et al., 2012; WENK et al., 2001).

As fibras dietéticas possuem características muito variáveis, portanto, a fonte de fibra e sua composição são importantes para o resultado obtido em um trabalho. O efeito fisiológico que a fibra irá causar depende mais de características físico-químicas das fibras do que de sua composição monomérica (ASP, 1996).

2.6 Associação entre zinco encapsulado e fibras para leitões em fase de creche

Sendo o óxido de zinco encapsulado um aditivo benéfico para os leitões ao desmame (KIM et al., 2015; KWON et al., 2014; SHEN et al., 2014), assim como o uso de fibras dietéticas (CHEN et al., 2014; DICKSVED; JANSSON; LINDBERG, 2015; PASCOAL et al., 2015; PIEPER et al., 2012), pode-se pensar em explorar um efeito aditivo entre esses dois compostos, sendo que estudos sobre esse tema são escassos na literatura.

A atividade da lipase é reduzida imediatamente após o desmame (JENSEN; JENSEN; JAKOBSEN, 1997), como a secreção de enzimas que é substrato-dependente, é provável que essa queda ocorra devido ao menor teor de gordura da nova dieta em relação ao leite materno (SANTOS; MASCARENHAS; OLIVEIRA, 2016). Esse fato pode ser prejudicial ao uso do óxido de zinco encapsulado, já que esse depende da digestão da cápsula lipídica para ser liberado.

Tendo isso em vista, determinadas fontes de fibra dietética podem aumentar a atividade da lipase. Ao trabalhar diferentes fontes de fibra, Chen et al. (2015), observaram que o farelo de trigo e o milho possuem esse efeito quando comparados ao farelo de soja e à ervilha. O farelo de trigo, que foi o ingrediente superior em aumentar a atividade de enzimas pancreáticas, é o que possui maior quantidade de lignina e a segunda maior quantidade de celulose, isso indica que as propriedades físico-químicas das fibras, fermentabilidade e viscosidade, são mais importantes do que a sua composição em si (WENK, 2001).

Diante disso, há a hipótese de que o fornecimento de fibras dietéticas com óxido de zinco encapsulado possam ter um efeito aditivo, ao passo que as fibras proporcionem maior liberação do zinco.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por aditivos alternativos ao uso de antibióticos promotores de crescimento é real na atualidade da suinocultura mundial. O óxido de zinco é conhecido por reduzir os efeitos da diarreia pós-desmame, um problema comum e que é causado por diversos fatores, sendo o principal deles a *Escherichia coli*, porém, o uso de óxido de zinco é feito com altos níveis de inclusão na dieta, entre 2000 e 3000 ppm, já que uma grande parte das moléculas se dissocia ao passar pela porção inicial do trato gastrointestinal, perdendo seu efeito antimicrobiano.

Um problema relacionado a esse alto nível de inclusão é a poluição ambiental, fato que já levou alguns países da Europa a limitarem sua inclusão a 150 ppm, uma forma de minimizar esse problema é através do uso de óxido de zinco encapsulado, essa tecnologia permite que as moléculas passem intactas pelo estômago e sejam liberadas apenas no intestino, após a digestão da capsula lipídica que as envolve, dessa forma, pode ser usada uma dose menor e que agirá diretamente sobre a microbiota intestinal. Em se tratando de modular a microbiota intestinal, as fibras também possuem um bom efeito, ao favorecer a redução de populações bacterianas patogênicas, porém, o efeito sinérgico entre a associação das fibras com o óxido de zinco ainda foi pouco estudado.

REFERÊNCIAS

ASP, N. G. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. **Food Chemistry**, Reading, n. 57, p. 9-14, 1996.

AUFREITER, S.; KIM, J. H.; CONNOR, D. L. O. Dietary Oligosaccharides increase colonic weight and the amount but not concentration of Bacterially Synthesized folate in the colon of piglets. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 141, p. 366-372, 2011.

BRUGGER, D.; WINDISCH, W. M. Subclinical zinc deficiency impairs pancreatic digestive enzyme activity and digestive capacity of weaned piglets. **The British Journal of Nutrition**, London, v. 116, n. 3, p. 425-433, 2016.

CHEN, H. et al. Arabinoxylan in wheat is more responsible than cellulose for promoting intestinal barrier function in weaned male piglets. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 145, n. 1, p. 51-58, 2014.

CHEN, H. et al. Comparison of jejunal digestive enzyme activities, expression of nutrient transporter genes, and apparent fecal digestibility in weaned piglets fed diets with varied sources of fiber. **Journal of Animal and Feed Sciences**, Jablonna, n. 24, p. 41-47, 2015.

DAVIN, R. et al. Effect of weaning and in-feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, n. 97, p. 6-12, 2013.

DICKSVED, J.; JANSSON, J. K.; LINDBERG, J. E. Fecal microbiome of growing pigs fed a cereal based diet including chicory (*Cichorium intybus* L.) or ribwort (*Plantago lanceolata* L.) forage. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, Heidelberg, v. 6, p. 53, 2015.

FREIRE, J. P. B. et al. Effect of dietary fibre source on trolal tract digestibility, caecum volatile fatty acids and digestive transit time in the weaned piglet. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, n. 87, p. 71-83, 2000.

GUELER, T. R. et al. Uso de ácido benzoico na dieta de leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 11, p. 2182-2187, 2009.

HEO, J. M. et al. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhea without using in-feed antimicrobial compounds. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Malden, n. 97, p. 207-237, 2013.

HILL, G. M. et al. Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of an antibacterial agent on nursery pig performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, n. 79, p. 934-941, 2001.

HORN, N. et al. Impact of acute water and feed deprivation events on growth performance, intestinal characteristics, and serum stress markers in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 92, n. 10, p. 4407-4416, 2014.

HU, C. H. et al. Zinc oxide influences intestinal integrity, the expressions of genes associated with inflammation and TLR4-myeloid differentiation factor 88 signaling pathways in weanling pigs. **Innate Immunity**, Los Angeles, v. 20, n. 5, p. 478-86, 2014.

JANG, I. et al. Effects of a lipid-encapsulated zinc oxide supplement on growth performance and intestinal morphology and digestive enzyme activities in weanling pigs. **Journal of Animal Science and Technology**, Daegu, v. 56, p. 29-34, 2014.

JENSEN, M. S.; JENSEN, S. K.; JAKOBSEN, K. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pâncreas. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 437-445, 1997.

JONES, C. K. et al. Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 1725-1732, 2010.

KIARIE, E. et al. Growth performance and gastrointestinal microbial ecology responses of piglets receiving *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products after an oral challenge with *Escherichia coli* (K88). **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 1062-1078, 2010.

KIM, S. J. et al. Effects of a lipid-encapsulated zinc oxide dietary supplement, on growth parameters, and intestinal morphology in weanling pigs artificially infected with enterotoxigenic *Escherichia coli*. **Journal of Animal Science and Technology**, Daegu, v. 57, p. 4, 2015.

KIM, S. et al. Use of carbohydrases in corn-soybean mealbased nursery diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 2496-2504, 2003.

KREUZER, S. et al. Feeding of the probiotic bacterium *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 differentially affects shedding of enteric viruses in pigs. **Veterinary Research**, Paris, v. 43, n. 1, p. 58, 2011.

KWON, C. H. et al. Effects of dietary supplementation of lipid-encapsulated zinc oxide on colibacillosis, growth and intestinal morphology in weaned piglets challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli*. **Animal Science Journal**, Tokyo, n. 85, p. 805-813, 2014.

LIMA, G. J. M. M.; MORÉS, N.; SANCHES, R. L. As diarreias nutricionais na suinocultura. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 37, p. 17-30, 2009.

LIU, H. W. et al. Supplemental dietary tryptophan modifies behavior, concentrations, of salivary-cortisol, plasma epinephrine, norepinephrine and hypothalamic 5-hydroxytryptamine in weaning piglets. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 151, p. 213-218, 2013.

MARTINEZ-RAMIREZ, H. R.; JEAUROND, E. A.; DE LANGE, C. F. M. Nutrition-induced differences in body composition, compensatory growth and endocrine status in growing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 3, p. 228-236, 2009.

MOLIST, F. et al. Relevance of functional properties of dietary fibre in diets for weanling pigs, **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, n. 189, p. 1-10, 2014.

ONTARIO MINISTRY OF FOOD, AGRICULTURE AND RURAL AFFAIRS. **Swine budget**. 2012. Disponível em: <<http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/swine/facts/info-b-oct2012.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

PASCOAL, L. A. F. et al. Purified cellulose, soybean hulls and citrus pulp as a source of fiber for weaned piglets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 5, p. 400-410, 2015.

PIEPER, R. et al. Fermentable fiber ameliorates fermentable protein-induced changes in microbial ecology, but not the mucosal response, in the colon of piglets. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 142, n. 4, p. 661-667, 2012.

PIEPER, R. et al. Impact of high dietary zinc on zinc accumulation, enzyme activity, and proteomic profiles in the pancreas of piglets. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, n. 30, p. 30-36, 2015.

REYNOLDS, F. H.; FORBES, J. M.; MILLER, H. M. Does the newly weaned piglet select a zinc oxide supplemented feed, when given the choice? **Animal**, Cambridge, n. 4, v. 8, p. 1359-1367, 2010.

SANTOS, L. S.; MASCARENHAS, A. G.; OLIVEIRA, H. F. Fisiologia digestiva e nutrição pós desmame em leitões. **Nutrime Revista Eletrônica**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 4570-4584, 2016.

SCHIAVON, S. et al. Effects of sugar beet pulp on growth and health status of weaned piglets. **Journal of Animal Science**, Champaign, n. 4, p. 337-351, 2004.

SEKIROV, I. et al. Gut microbiota in health and disease. **Physiology Review**, Palo Alto, n. 90, p. 859-904, 2010.

SHEN, J. et al. Coated zinc oxide improves intestinal immunity function and regulates microbiota composition in weaned piglets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, n. 111, p. 2123-2134, 2014.

STARKE, I. C. et al. The impact of dietary zinc oxide on the bacterial diversity of the small intestinal microbiota of weaned piglets. **Journal of Veterinary Science & Technology**, Kagoshima, v. 5, n. 2, 2014. Disponível em: <<http://www.omicsonline.org/open-access/the-impact-of-dietary-zinc-oxide-on-the-bacterial-diversity-of-the-small-intestinal-microbiota-of-weaned-piglets-2157-7579.1000171.php?aid=26830>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

STARKE, I. C. et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, n. 87, p. 416-427, 2013.

TURNER, N. D.; LUMPTON, J. R. Dietary fiber. **Advances in Nutrition**, New York, n. 2, p. 151-152, 2011.

WANG, J. et al. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 138, p. 1025-1032, 2008.

WENK, C. The role of dietary fibre in digestive physiology of the pig, **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, n. 90, p. 21-33, 2001.

WOLTER, B. F. et al. Impact of early postweaning growth rate as affected by diet complexity and space allocation on subsequent growth performance of pigs in a wean-to-finish production system. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 353-359, 2003.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Efeito do óxido de zinco encapsulado e da fibra dietética sobre desempenho e saúde intestinal de leitões na fase de creche

RESUMO

Objetivou-se avaliar o impacto do óxido de zinco e do zinco encapsulado, associados ou não a fibras dietéticas sobre o desempenho e a saúde intestinal de leitões na fase de creche. O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 140 leitões machos castrados desmamados aos 21 dias, com peso de $5,32 \pm 1,31$ kg, alojados nas instalações de creche e divididos em 35 baias com quatro animais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos: 1) Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72% (CN); 2) Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias (OZ); 3) Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias (OZ+F); 4) Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias (ZE); 5) Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias (ZE+F), e sete repetições, com a parcela experimental representada pela baia. No sexto e sétimo dia de experimento todos os animais foram desafiados com *E. coli* K88⁺ (1 mL, 10^6 UFC/mL em cada dia). Os animais foram pesados ao início, aos 6, 14, 21, 28 e 42 dias de experimento para avaliação do desempenho e uma vez ao dia foi realizada a avaliação do escore fecal para determinar a incidência de diarreia. Foi abatido um animal por unidade experimental para as avaliações da produção de ácidos graxos voláteis, população microbiana, morfologia intestinal e digestibilidade. Foi observado um menor consumo dos animais do tratamento ZE aos 6 dias ($P < 0,05$). Em relação à incidência de diarreia, o tratamento OZ teve menor índice em relação ao tratamento ZE. Os resultados das análises microbiológicas, de ácidos graxos voláteis e histológicas não foram influenciados pelos tratamentos. Dessa forma, o óxido de zinco 72% é eficiente no controle da diarreia pós-desmame, ao contrário do zinco encapsulado, que só proporciona um bom desempenho aos animais quando associado a fibras dietéticas.

Palavras-chave: Suínos. Aditivos. Histologia. Diarreia. Jejuno. Desmame.

ABSTRACT

This study aimed to assess the impact of zinc oxide and encapsulated zinc, associated or not with dietary fiber on performance and intestinal health of piglets in nursery phase. The experiment was conducted at the Animal Science Department of the Federal University of Lavras. In the experiment it was used 140 barrows weaned at 21 days weighing 5.32 ± 1.31 kg, housed in daycare facilities and divided into 35 bays with four animals. The experimental design was in randomized blocks, with five treatments: 1) Negative control supplemented with 139 ppm ZnO (72% Zn) (CN); 2) basal diet with ZnO (72% Zn) supplemented with 2500 ppm from 21 to 35 days and 1500 ppm from 36 to 63 days (OZ); 3) Basal feed with ZnO (72% Zn) and dietary fiber, supplemented with 2500 ppm ZnO and 8000 ppm dietary fiber from 21 to 35 days, 1500 ppm ZnO and 6000 ppm dietary fiber from 36 to 49 and 1500 ppm ZnO from 50 to 63 days (OZ + F); 4) basal diet supplemented with 800 ppm encapsulated Zn from 21 to 35 days and 500 ppm encapsulated Zn from 36 to 63 days (ZE); 5) basal diet supplemented with 8000 ppm dietary fiber and 800 ppm encapsulated Zn from 21 to 35 days, 6000 ppm dietary fiber and 500 ppm encapsulated Zn the 36 to 49 days and 500 ppm encapsulated Zn from 50 to 63 days (ZE + F), and seven repetitions with the bays as experimental plots. In the sixth and seventh day of the experiment, all animals were challenged with *E. coli* K88⁺ (1 mL, 10^6 CFU/mL for each day). The animals were weighed at the beginning and at 6, 14, 21, 28 and 42 days of experiment to assess the performance and once a day there was the evaluation of fecal score to determine the incidence of diarrhea. One animal per experimental unit was slaughtered to evaluate the production of volatile fatty acids, microbial population, intestinal morphology and digestibility. There was lower consumption of the animals in the ZE treatment at 6 days ($P < 0.05$). Regarding the incidence of diarrhea, the OZ treatment had a lower rate when compared to the ZE treatment. The results of microbiological analysis of volatile fatty acids and histology were not affected by treatments. Thus, the zinc oxide 72% is effective in the control of post-weaning diarrhea, unlike the encapsulated zinc, which only provides a good performance of the animals when associated with dietary fibers.

Keywords: Swine. Additives. Histology. Diarrhea. Jejunum. Weaning.

1 INTRODUÇÃO

O momento do desmame é bastante estressante para os leitões. A dieta deixa de se constituir basicamente de leite materno para ser uma dieta sólida e com proteínas vegetais. Além disso, os animais precisam se adaptar às novas instalações, a uma alteração social e a um desafio imunológico causado pelo contato com novos patógenos.

Um típico problema que acontece na transição para a creche é a síndrome da diarreia pós-desmame (SDPD), também conhecida como colibacilose pós-desmame, uma vez que cepas de *Escherichia coli* enterotoxigênicas são os principais agentes, embora possa haver outros. Sua ocorrência está associada a fatores nutricionais, de manejo e de ambiente (LIMA; MORÉS; SANCHES, 2009). Colaborando com esse quadro está o fato de que o desmame precoce causa redução na altura e largura das vilosidades intestinais e na atividade de enzimas digestivas e antioxidantes (WANG et al., 2008).

Inúmeros estudos (GUELER et al., 2009; KIARIE et al., 2010; LIU et al., 2013) vêm sendo realizados na tentativa de reduzir o impacto causado pela SDPD por meio de estratégias nutricionais que visam promover melhorias na saúde intestinal dos leitões e, conseqüentemente, melhor aproveitamento dos nutrientes da ração.

Nesse sentido vem sendo estudado o uso de aditivos que minimizem essa situação, como o óxido de zinco (WALK; WILCOCK; MAGOWAN, 2015) e as fibras dietéticas (PASCOAL et al., 2015), que possam substituir os antibióticos que são usados como melhoradores de desempenho, devido a uma tendência de que seu uso seja banido, além de buscar adaptar o animal fisiologicamente às condições pós-desmame.

O óxido de zinco pode ser utilizado na dieta de leitões para melhorar a saúde intestinal dos animais, ao atuar em diferentes pontos do intestino, podendo ser considerada uma alternativa ao uso de antibióticos.

Além de melhorar o desempenho de leitões desmamados, o fornecimento de óxido de zinco também beneficia a morfologia intestinal desses animais, ao aumentar a densidade de vilos no duodeno, jejuno e íleo, e altura de vilosidades no jejuno e íleo (KWON et al., 2014).

Porém, a maior parte do óxido de zinco fornecido em altas doses, de 1500 a 3000 ppm, é excretada nas fezes, levando à poluição ambiental (HILL et al., 2001).

Uma alternativa para o uso de zinco seria a forma encapsulada, liberando-o apenas após a digestão da cápsula, podendo assim ser utilizado em menores doses, e reduzindo o impacto ambiental.

O uso de zinco encapsulado, mesmo em baixas concentrações, pode reduzir o índice de diarreia ao promover o desenvolvimento intestinal, protegendo as células intestinais, estimulando o sistema imunológico e regulando a microbiota do lúmen intestinal (SHEN et al., 2014).

Já as fibras estão presentes na dieta pós-desmame, quando o leitão passa a se alimentar de dietas ricas em produtos de origem vegetal. Um importante papel desempenhado pelas fibras é a modulação da microbiota intestinal. A celulose purificada, por exemplo, melhora o desempenho dos leitões ao regular a microbiota do intestino delgado, reduzindo a concentração de *E. coli* e aumentando a concentração de vilosidades (PASCOAL et al., 2015).

Não se encontram registros na literatura de trabalhos que associem o zinco encapsulado à fibra dietética, uma associação que pode ser interessante para a área da criação de suínos.

Sendo assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar o efeito do óxido de zinco convencional e do zinco encapsulado, associados ou não a fibras dietéticas sobre o desempenho e a saúde intestinal de leitões desmamados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Suínos (CES), da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais, Brasil. Os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFLA, protocolo nº 004/16.

Animais, instalações e dietas experimentais

Um total de 140 leitões machos castrados (cruzamento de fêmeas DanBred - DB90 x machos PIC - AGPIC337), desmamados aos 21 dias de idade e $5,32 \pm 1,31$ kg de peso inicial, foram alojados na unidade de creche.

As instalações são constituídas por baias suspensas, com piso vazado, comedouros tipo calha e bebedouros tipo chupeta. A temperatura foi monitorada com o uso de datalogger e era regulada pela abertura ou fechamento de janelas e uso de lâmpadas aquecedoras para manter o ambiente próximo ao adequado para a idade do animal. Na Tabela 1 encontram-se descritos os elementos climáticos e índice térmico.

Tabela 1. Médias de temperaturas e Índice de Temperatura e Umidade.

Índice	
ITU	75,5
Temperatura máxima (°C)	29,35
Temperatura mínima (°C)	23,33
Temperatura de globo negro (°C)	26,15

ITU: Índice de temperatura e umidade

As rações foram formuladas para atender às exigências nutricionais mínimas segundo as Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2011), em três períodos da fase de creche: Pré-inicial 1 (1 a 13 dias de experimento), Pré-inicial 2 (14 a 27 dias de experimento) e Inicial (28 a 42 dias de experimento) (Tabela 2).

A fim de manter as dietas isoenergéticas e isoproteicas, foi reservado um espaço da formulação para a inclusão dos aditivos, quando necessário, esse espaço era completado com caulim.

Tabela 2. Composição centesimal e valores nutricionais das dietas utilizadas nas diferentes fases do experimento.

Ingredientes (%)	Pré-inicial 1	Pré-inicial 2	Inicial
Milho	40,66	49,84	67,87
Soja Integral Micronizada	14,00	7,00	0,00
Farelo de Soja 45%	15,00	22,00	25,00
Plasma	5,00	2,50	0,00
Soro de leite em pó	19,31	11,04	0,00
Óleo de soja	1,00	2,50	2,00
Fosfato bicálcico	1,15	1,35	1,45
Premix vit/min ¹	0,1	0,12	0,00
Premix vit/min ²	0,00	0,00	0,15
Calcáreo Calcítico	0,95	0,93	0,80
Sal comum	0,05	0,20	0,45
L-Lisina	0,33	0,38	0,30
DL-Metionina	0,18	0,17	0,07
L-Treonina	0,14	0,15	0,06
L-Triptofano	0,03	0,02	0,00
L-Valina	0,06	0,06	0,00
Caulim	2,04	1,74	1,85
Níveis nutricionais calculados			
E.M. Suínos kcal/kg	3472,46	3395,38	3227,49
Proteína Bruta (%)	21,96	20,30	17,00
Lisina Dig. (%)	1,45	1,33	1,00
Metionina Dig. (%)	0,44	0,42	0,30
Metionina+Cist. Dig. (%)	0,93	0,75	0,56
Treonina Dig. (%)	0,91	0,84	0,63
Triptofano Dig. (%)	0,26	0,24	0,18
Valina Dig. (%)	1,00	0,92	0,71
Fibra Bruta (%)	1,70	2,14	2,50
Lactose (%)	14,00	8,00	0,00
Cálcio (%)	0,85	0,83	0,72
Fósforo Disponível (%)	0,50	0,45	0,36
Sódio (%)	0,28	0,23	0,20

¹ Composição por kg do produto: Ácido fólico (4,5 mg); Ácido pantotênico (75 mg); Biotina (0,9 mg); Co (2 mg); Cu (370 mg); Colina (1000 mg); Fe (250 mg); I (5000 mg); Mn (100 mg), Niacina (120 mg); Se (1,5 mg); Vitamina B1 (12 mg); Vitamina B12 (0,1 mg); Vitamina B2 (25 mg); Vitamina B6 (15 mg); Vitamina C (150 mg); Vitamina A (36000 UI); Vitamina D3 (75000 UI); Vitamina E (270 UI); Vitamina K3 (15 UI); Zinco (7750 mg). ² Composição por kg do produto: Ácido fólico (20 mg); Ácido pantotênico (470 mg); Biotina (3,75 mg); Co (25 mg); Cu (4,650 mg); Colina (9000 mg); Fe (3000 mg); I (45 mg); Mn (1400 mg), Niacina (700 mg); Se (10 mg); Vitamina B1 (50 mg); Vitamina B12 (0,6 mg); Vitamina B2 (130 mg); Vitamina B6 (75 mg); Vitamina C (500 mg); Vitamina A (200000 UI); Vitamina D3 (40000 UI); Vitamina E (1170 UI); Vitamina K3 (90 UI); Zinco (4100 mg).

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos, sete repetições, e a parcela experimental foi composta por quatro leitões. O peso inicial foi o parâmetro utilizado para definição dos blocos. Os cinco tratamentos foram: 1) Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72% (CN); 2) Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias (OZ); 3) Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias (OZ+F); 4) Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias (ZE); 5) Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias (ZE+F). Na Tabela 3 estão representados os tratamentos.

Como fonte de fibras dietéticas foi utilizado o produto Opticell®, composto por 100% de fibra insolúvel e 75% de fibra fermentável. Como fonte de zinco encapsulado foi utilizado o produto Miatrace®, que possui 38,5 ppm de óxido de zinco e 161,5 ppm de sulfato de zinco.

Tabela 3. Tratamentos experimentais.

	21 a 35 dias	36 a 49 dias	50 a 63 dias
1: CN	139 ppm ZnO ¹	139 ppm ZnO ¹	139 ppm ZnO ¹
2: OZ	2500 ppm ZnO ¹	1500 ppm ZnO ¹	1500 ppm ZnO ¹
3: OZ+F	2500 ppm ZnO ¹ 8000 ppm FD	1500 ppm ZnO ¹ 6000 ppm FD	1500 ppm ZnO ¹
4: ZE	800 ppm ZnO ²	500 ppm ZnO ²	500 ppm ZnO ²
5: ZE+F	8000 FD 800 ppm ZnO ²	6000 ppm FD 500 ppm ZnO ²	500 ppm ZnO ²

FD: Fibra dietética; ZnO¹: Óxido de zinco 72%; ZnO²: Óxido de zinco encapsulado.

Procedimentos experimentais

O experimento teve a duração de 42 dias durante os quais água e ração foram fornecidos *ad libitum*. Para o controle de doenças respiratórias, os animais receberam uma

dose de 0,15ml de antibiótico à base de tularomicina (Draxxin®, Zoetis), que não possui ação entérica, padronizando a resposta imunológica dos animais.

No sexto e sétimo dias do experimento, todos os animais foram inoculados oralmente com *Escherichia coli*. Os animais receberam em cada uma das duas doses de inóculo 1 ml contendo 10^6 UFC/ml de *Escherichia coli* enterotoxigénica, totalizando uma dose de 2 ml, ou seja, 2×10^6 UFC por animal (SILVEIRA, 2014).

O inóculo bacteriano utilizado foi obtido a partir da estirpe bacteriana *Escherichia coli* K88⁺ (LT +, STa + e STb +), adquirida da Universidade de São Paulo. A preparação dos inóculos foi realizada no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Zootecnia da UFLA. A cepa foi cultivada em meio de cultura por 16 horas a 37° C, a seguir, foi lavada sequencialmente em PBS para atingir uma concentração de 10^6 bactérias/ml.

Aos 21 dias de experimento foi abatido um animal por baia com base no peso médio, 35 animais no total. O abate foi realizado por meio de eletronarcose (> 300V, 1,25A, de 6 segundos), seguida de exsanguinação em frigorífico devidamente registrado e teve como finalidade a coleta de segmento intestinal (jejuno), para que fosse analisada a morfologia intestinal, de conteúdo cecal para avaliação da produção de ácidos graxos voláteis, e para a análise microbiológica.

Desempenho e incidência de diarreia

Para a avaliação do desempenho, os leitões foram pesados ao início do experimento, aos 6, 14, 28 e 42 dias para a verificação do ganho de peso diário (GPD). Foi avaliado o consumo de ração por meio da quantificação da ração fornecida e das pesagens das sobras nos comedouros, duas vezes ao dia, para que fossem calculados o consumo de ração diário (CRD) e a conversão alimentar (CA).

A incidência de diarreia foi avaliada por meio do escore fecal que foi feito todos os dias pela manhã, por uma mesma pessoa. As fezes foram classificadas como normais (ausência de diarreia) ou como fezes líquidas e pastosas (com diarreia). A incidência de diarreia foi calculada por meio da porcentagem de baias positivas para diarreia em relação ao total de observações realizadas em um período, sendo encontrada ao final a porcentagem de diarreia de 0 a 14 dias, 0 a 21 dias, 0 a 28 dias e de 0 a 42 dias.

Morfologia do jejuno

As amostras de tecido do jejuno para análise morfológica, foram coletadas 2 m após o esfíncter pilórico estomacal, os segmentos tinham 5 cm. Foram lavados com solução fisiológica e fixados em solução de formol 10% por 24 horas, desidratadas, incluídas em parafina, cortadas em micrótomo (4µm) e as lâminas coradas por Hematoxilina e Eosina, seguindo metodologia de Pluske, Williams e Aheme (1996).

Foram confeccionadas duas lâminas para cada amostra de tecido (quatro cortes) e medidas quinze vilosidades e quinze criptas por animal, para que fossem avaliadas altura de vilosidade, profundidade de cripta e a relação altura de vilosidade/profundidade de cripta. A análise das lâminas histológicas foi feita em microscópio ótico OLYMPUS CX31, com câmera OLYMPUS SC30 associada e foi utilizado o *software* analisador de imagens Axio Vision Release 4.9 (ZEISS). As análises de microscopia foram conduzidas no Laboratório de Histologia e Microbiologia do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras.

Digestibilidade

Foi avaliada a digestibilidade dos nutrientes da dieta (proteína bruta e matéria seca), por meio da análise das fezes, a fim de mensurar a melhoria da digestão e da absorção proporcionada pelos aditivos. Para a avaliação do coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta foi utilizado o método Kjeldahl (1883), de avaliação com o marcador óxido de cromo (Cr₂O₃), foi utilizada a seguinte fórmula:

$$PBA = 100 - [100 \times (CD/CF \times PF/PD)]$$

Em que: PBA – Proteína bruta aparente

CD - % de Cr₂O₃ na dieta

CF - % de Cr₂O₃ nas fezes

PF - % de proteína bruta nas fezes

PD - % de proteína bruta na dieta

Após as amostras passarem 48 horas em estufa a 65° C, 16 horas em estufa 105° C e seis horas em mufla a 600° C, foram realizados os processos de digestão, titulação e destilação. Em seguida foi feita a leitura da quantidade de cromo através de espectrometria de absorção atômica, para ser calculada a quantidade de nitrogênio.

Para a determinação do coeficiente de digestibilidade da matéria seca, as amostras passaram pelo mesmo processo em estufas a 65 e 105° C.

Microbiologia

Para análise microbiológica foram coletadas amostras de conteúdo cecal ao abate. As análises das populações microbianas foram realizadas pelo método de cultura em meio seletivo específico para *Escherichia coli*, coliformes totais, coliformes não *E. coli*, e *Lactobacillus spp.* As contagens das colônias (UFC/g) foram submetidas à transformação logarítmica (\log_{10}) antes da análise estatística.

Ácidos graxos voláteis

A análise dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico) foi realizada a partir de conteúdo cecal coletado após abate. Em uma amostra de 2 g do conteúdo foi adicionado 4mL de ácido fórmico (17%) para extrair e conservar os ácidos graxos presentes. Foi realizada a centrifugação a 2500 rpm e o sobrenadante foi armazenado a -20 °C até a realização da análise por cromatografia gasosa, seguindo a metodologia descrita por Playne (1985).

Análise estatística

O teste de *Shapiro-Wilk* foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados. Quando as variáveis não apresentaram distribuição normal foi realizada a transformação de dados através do PROC RANK (SAS INSTITUTE, 2009). Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o pacote estatístico do SAS através do teste F. Quando houve diferença estatística pelo teste F ($P < 0,05$) foi adotado o teste de Tukey para comparação das médias. Os dados foram submetidos ao pacote estatístico do software SAS (SAS INSTITUTE, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados de desempenho, verifica-se que o consumo de ração foi influenciado pelos tratamentos aos seis dias de experimento (Tabela 4), quando o consumo diário do tratamento ZE foi menor. Comparado ao restante do período experimental esse efeito não foi mais observado.

Tabela 4. Efeito das dietas experimentais sobre o peso (kg), o consumo de ração diário – CRD (kg), ganho de peso diário – GPD (kg) e conversão alimentar – CA.

	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 6 dias</i>							
Peso	5,94	5,81	6,00	5,67	5,92	13,65	0,0716
CRD	0,123A	0,099AB	0,114A	0,088B	0,123A	19,23	0,0016
GPD	0,103	0,080	0,102	0,074	0,100	34,75	0,3087
CA	1,234	1,254	1,286	1,069	1,264	17,95	0,3885
	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 14 dias</i>							
Peso	7,87	7,74	8,13	7,50	7,96	13,11	0,4691
CRD	0,234	0,229	0,250	0,214	0,219	18,65	0,6552
GPD	0,182	0,180	0,196	0,156	0,189	0,1886	0,4816
CA	1,333	1,360	1,327	1,356	1,376	7,06	0,8857
	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 21 dias</i>							
Peso	10,12	10,07	10,21	9,32	9,90	12,11	0,1891
CRD	0,337	0,335	0,342	0,300	0,339	15,69	0,5136
GPD	0,228	0,226	0,229	0,190	0,218	17,42	0,1902
CA	1,486	1,495	1,492	1,594	1,561	8,17	0,0899
	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 28 dias</i>							
Peso	12,36	12,64	12,91	11,71	12,73	13,57	0,4643
CRD	0,433	0,449	0,451	0,392	0,446	14,85	0,2724
GPD	0,251	0,263	0,269	0,238	0,266	17,19	0,632
CA	1,732	1,722	1,694	1,674	1,706	9,43	0,9747
	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 42 dias</i>							
Peso	20,49	21,36	21,11	19,43	21,36	13,13	0,3975
CRD	0,620	0,664	0,610	0,598	0,663	11,20	0,1609
GPD	0,361	0,382	0,349	0,343	0,375	12,97	0,3663
CA	1,727	1,745	1,743	1,753	1,682	6,16	0,794

Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). CN - Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72%; OZ - Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO de 21 a 35 dias e 1500 ppm de ZnO de 36 a 63 dias; OZ+F - Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63

dias; ZE - Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias; ZE+F - Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias.

Pode-se explicar a redução no consumo na primeira semana dos animais que receberam o zinco envolto por cápsula lipídica.

A lipase pancreática tem sua atividade crescente de 0 a 35 dias de idade, sendo que alcança um bom nível na quarta semana de vida. Aos 28 dias sua atividade é significativamente maior em relação aos 21 dias, além disso, o desmame provoca uma queda na atividade dessa enzima (GU; LI, 2003).

O óxido de zinco encapsulado pode ter sido pouco eficiente em leitões após o desmame devido a essa relativamente baixa atividade da lipase nessa fase, já que a capsula é constituída por lipídeos de origem vegetal. A baixa atividade da lipase pode ter ocasionado uma má digestão da cápsula lipídica, dessa forma reduzindo a quantidade de zinco liberada no tratamento ZE em relação aos demais.

Isso também poderia ter acontecido no tratamento ZE+F, cuja fonte de óxido de zinco também era encapsulada. Porém, as fibras insolúveis, também presentes no tratamento, aumentam a atividade enzimática, inclusive da lipase (CHEN et al., 2015), que pode favorecer a digestão da cápsula lipídica e conseqüentemente a liberação do óxido de zinco no intestino.

Isso é importante, pois o desmame causa uma resposta imunológica no leitão, levando ao aumento de citocinas pró-inflamatórias como interleucina-1 β (IL-1 β), interleucina-6 (IL-6) e fator de necrose tumoral- α (TNF- α), que são anorexigênicas (LING; SCHWARTZ; BISTRIAN, 1997).

Sargeant et al. (2010), estudaram o efeito do óxido de zinco sobre esses fatores inflamatórios e concluíram que sua inclusão reduz a formação de citocinas pró-inflamatórias, levando a uma melhora no desempenho. A redução de fatores anorexigênicos pode ser associada a um maior consumo pelos animais.

Além de fatores inflamatórios, o perfeito funcionamento do organismo é influenciado por outras inúmeras variáveis, como por exemplo, a regulação hormonal. A grelina é um hormônio do trato gastrointestinal, secretado principalmente pela parede do estômago e que é responsável por estimular a fome do animal (PARROT et al., 1995). O zinco, que é absorvido ao longo do intestino delgado, ceco e cólon (HARA; KONISHI; KASAI, 2000), é capaz de aumentar a secreção de grelina (YIN et al., 2009), levando assim a um aumento no consumo.

Em relação à palatabilidade, Reynolds, Forbes e Miller (2010) avaliaram a preferência de leitões desmamados por duas dietas, uma com 100 e outra com 3100 ppm de zinco proveniente de óxido de zinco, e observaram que os leitões preferem a ração com menos óxido de zinco, em função da palatabilidade, porém, há resultados controversos, como o do presente trabalho. Nesse, o óxido de zinco não reduziu o consumo, e ainda o resultado obtido por Starke et al. (2013), que observaram maior consumo dos animais que receberam 2425 ppm de ZnO em relação ao grupo controle.

O peso médio, ganho de peso diário e a conversão alimentar dos animais não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos durante todo o período experimental, assim como nos resultados obtidos por Bondizio et al. (2013) e Davin et al. (2013). Liu et al. (2014), também não encontraram efeito de diferentes inclusões de óxido de zinco na dieta (57, 154 e 2425 mg/kg de zinco) nas primeiras duas semanas após o desmame.

Esses resultados corroboram os de O'Shea et al. (2014), que não encontraram diferença entre a inclusão ou não de óxido de zinco sobre o desempenho de leitões desmamados.

Shen et al. (2014), testaram a diferença entre alto e baixo nível de inclusão de óxido de zinco e de crescentes níveis de inclusão de óxido de zinco encapsulado chegando ao nível máximo de 1140 mg/Kg de zinco, e também não observaram influência dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho. Uma diferença entre o presente trabalho e os que foram discutidos acima, é que nos trabalhos encontrados na literatura não houve a inoculação com *E. coli*.

Já em relação à incidência de diarreia, no presente trabalho houve resposta aos tratamentos a partir da quarta semana de experimento, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Efeito das dietas experimentais sobre a incidência de diarreia – ID (%).

	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
<i>0 a 6 dias</i>							
ID	36,81	23,48	34,29	30,12	34,29	65,44	0,831
<i>0 a 14 dias</i>							
ID	47,25	27,47	25,27	36,01	37,36	55,59	0,178
<i>0 a 21 dias</i>							
ID	34,62	21,43	22,86	39,29	33,57	51,89	0,113
<i>0 a 28 dias</i>							
ID	37,09AB	24,34B	27,51AB	46,56A	37,57AB	44,24	0,043
<i>0 a 42 dias</i>							

ID	32.40AB	18.82B	20.21AB	34.58A	27.17AB	44,71	0,040
----	---------	--------	---------	--------	---------	-------	-------

Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72%; OZ - Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias; OZ+F - Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias; ZE - Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias; ZE+F - Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias.

O tratamento OZ foi mais eficiente em controlar a diarreia após o desafio que foi feito aos 6 e 7 dias de experimento ($P < 0,05$). Já o tratamento ZE foi o que apresentou a pior recuperação, com maior incidência de diarreia nos intervalos de 0 a 28 e 0 a 42 dias de experimento ($P < 0,05$).

O óxido de zinco tanto em sua forma de apresentação convencional quanto na forma encapsulada, é conhecido por reduzir os índices de diarreia de leitões desmamados quando comparados a grupos de controle negativo (SHEN et al., 2014).

Um dos mecanismos de ação desse aditivo se dá por exercer um efeito protetor sobre os enterócitos, ao inibir a aderência e a invasão por *E.coli* (ROSELI et al., 2003), podendo contribuir para a prevenção ou tratamento da diarreia pós-desmame.

Outro mecanismo de ação do zinco em evitar a diarreia, é a redução da excreção de cloreto na mucosa do cólon. Por meio da inibição dos canais basolaterais condutores de potássio, alterando o transporte de íons no tecido da mucosa, ocorre redução na secreção de fluidos, o que contribui para a desidratação da digesta no lúmen (MEDANI et al., 2012). Essa desidratação pode favorecer a limitação da atividade de bactérias patogênicas.

Alguns estudos comprovam o sucesso do fornecimento de zinco encapsulado no controle da diarreia pós-desmame em animais desafiados com *E. coli* K88⁺, porém é necessário que se observe uma diferença importante entre esses trabalhos e a presente pesquisa. Nesses estudos os animais passaram a receber o zinco encapsulado com idade superior, de 28 dias (SHEN et al., 2014) 30 dias (KIM et al., 2015), ou até mesmo 35 dias (KWON et al., 2014).

Novamente, a baixa atividade da lipase após o desmame aos 21 dias (GU; LI, 2003), pode explicar os resultados, sobre como o tratamento ZE teve maior dificuldade em se recuperar do desafio. Sendo o óxido de zinco encapsulado menos liberado no trato gastrintestinal dos animais após o desmame, esses não puderam fazer uso das vantagens que o aditivo proporcionou aos demais tratamentos.

Assim como no presente estudo, O'Shea et al. (2014) constataram por meio de análise visual de escore, a redução da diarreia de leitões desmamados que receberam óxido de zinco na dieta de 0 a 21 dias.

Mais um mecanismo de ação do óxido de zinco, na sua forma convencional ou encapsulada, diz respeito à resposta imune, uma vez que esse aditivo aumenta a quantidade de IgA secretada na mucosa intestinal (SHEN et al., 2014). Esse efeito pode aumentar a proteção do animal contra agentes causadores da diarreia.

Da mesma forma, a inclusão de fibras na dieta de leitões também é um fator que pode favorecer o controle da diarreia pós-desmame (MA et al., 2002), sendo que seu principal modo de ação é a regulação da microbiota intestinal.

A diarreia está relacionada, entre outros fatores, à microbiota intestinal. No presente trabalho foi estudada a microbiota do conteúdo cecal dos leitões aos 42 dias de vida.

Não houve efeito dos tratamentos sobre a composição da microbiota no ceco 14 dias após o desafio feito a partir da inoculação de *Escherichia coli* K88⁺ (dados não apresentados).

É importante ressaltar que as populações bacterianas possuem características que levam à sua predominância em determinadas regiões do trato gastrointestinal que devem ser consideradas no momento das análises.

Os *Lactobacillus* são o grupo predominante no intestino delgado (BIN et al., 2011), portanto, um possível efeito dos tratamentos sobre essa população seria mais evidente na porção anterior do intestino.

O ceco possui populações semelhantes ao cólon de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (JOHNSON; CONWAY, 1992) sendo que no cólon a população predominante é a de *Bifidobacterium* (JING et al., 2010), porém, no presente trabalho não foram avaliadas as populações de *Bifidobacterium*.

O zinco ajuda a modular essas populações, porém seu efeito sobre a microbiota intestinal é complexo, podendo alterar tanto sua composição quanto seu metabolismo (HOJBERG et al., 2005; MOLIST et al., 2011). O impacto de maior relevância ocorre sobre a microbiota do intestino delgado, e principalmente na primeira semana de fornecimento (STARKE et al., 2013).

Talvez devido a essa característica, as contagens bacteriológicas não obtiveram diferença significativa entre os tratamentos para nenhuma bactéria analisada (Coliformes não *E. coli*, *E. coli*, coliformes totais e *Lactobacillus*), já que a coleta foi realizada em conteúdo

cecal, três semanas após a inclusão dos aditivos na dieta. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por O'Shea et al. (2014).

Outros estudos também indicam que os coliformes não são afetados por dietas com altos níveis de zinco (BROOM et al., 2006), ou ainda que essas populações podem até mesmo ser aumentadas (HOJBERG et al., 2005). Isso pode ocorrer devido a uma diminuição na competição com *Lactobacillus*, já que esses podem ter sua contagem reduzida em presença de altas concentrações de zinco (STARKE et al., 2013), embora não tenha sido comprovado por esse estudo.

As fibras têm demonstrado exercer um papel importante sobre a saúde intestinal, devido à sua resistência em serem digeridas e absorvidas na porção anterior do intestino.

O efeito da inclusão de fibras tem sido atribuído principalmente à sua relação com as bactérias intestinais, com foco na porção posterior do intestino (IAIN et al., 2011). As fibras poderiam selecionar populações específicas de bactérias para comporem a microbiota intestinal (ZHONG et al., 2009).

As populações bacterianas presentes, principalmente no intestino grosso, são responsáveis pela fermentação dos nutrientes que não foram digeridos ou absorvidos. Uma boa forma de avaliar a atividade de fermentação microbiana no intestino grosso é por meio da avaliação do perfil de ácidos graxos voláteis (MACFARLANE; MACFARLANE; CUMMINGS, 2006; MAROUNEK et al., 2002).

Esses ácidos são produzidos a partir de processos fermentativos, o óxido de zinco pode reprimir a atividade microbiana e conseqüentemente diminuir a concentração de ácidos graxos voláteis produzidos (O'SHEA et al., 2014).

Entre os ácidos graxos voláteis que foram analisados, ácidos acético, propiônico e butírico, nenhum apresentou diferença significativa entre os tratamentos estudados (Tabela 6).

Tabela 6. Efeitos das dietas experimentais sobre a produção de ácidos graxos voláteis no ceco (nM).

	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
Acético	765,12	681,14	771,67	645,26	693,30	24,2	0,752
Propiônico	373,61	324,85	385,40	273,89	385,76	30,0	0,382
Butírico	158,27	149,37	146,57	102,18	156,02	39,3	0,500

Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72%; OZ - Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO de 21 a 35 dias e 1500 ppm de ZnO de 36 a 63 dias; OZ+F - Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias; ZE -

Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias; ZE+F - Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias.

O'Shea et al. (2014), também não encontraram efeito do fornecimento de óxido de zinco sobre a produção desses ácidos aos 21 dias pós-desmame, porém, verificaram efeito significativo sobre as concentrações de ácidos graxos totais, ácido valérico e isovalérico.

Diferentes fontes de fibras não alteram as concentrações de ácidos graxos voláteis no íleo, mas no cólon proporcionam algumas diferenças. Fibras de farelo de soja proporcionam maior produção de ácidos graxos voláteis totais, acetato, propionato e butirato, enquanto ingredientes com maior concentração de fibras insolúveis favorecem apenas um aumento na produção de butirato (CHEN et al., 2013) que é uma importante fonte de energia para a mucosa intestinal.

Ao trabalhar com aditivos visando à melhoria da saúde intestinal, é importante que se atente à morfologia do intestino. Entre as variáveis de morfologia analisadas no presente trabalho, não foram encontradas diferenças ocasionadas pelos tratamentos, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7. Efeito das dietas experimentais sobre a altura de vilosidade - AV (μm), profundidade de cripta - PC (μm) e relação altura de vilosidade/profundidade de cripta - AV/PC.

	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
AV	317,16	340,97	286,44	313,67	324,96	17,5	0,405
PC	336,28	344,29	318,33	342,18	350,71	11,8	0,667
AV/PC	1,018	1,132	0,95	1,02	1,00	20,6	0,508

Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72%; OZ - Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias; OZ+F - Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias; ZE - Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias; ZE+F - Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias.

A mucosa do intestino é constituída por uma camada de epitélio colunar responsável pelos principais mecanismos de digestão e absorção do organismo, além de exercer importante papel de proteção do animal em relação aos agentes patogênicos do meio externo (BLIKSLAGER et al., 2007), por isso, é fundamental que sua integridade seja mantida. Sabe-

se que o estresse do desmame ocasiona perdas significativas na mucosa intestinal, levando à redução da altura de vilosidades e aumento na profundidade das criptas.

A inclusão de óxido de zinco encapsulado na dieta de leitões desmamados provoca, segundo Shen et al. (2014), efeito linear no aumento das alturas de vilosidades intestinais no duodeno e no íleo, e menor profundidade de criptas no jejuno e íleo, aumentando a relação vilosidade/cripta em todo o intestino delgado.

Kwon et al. (2014), ao trabalharem com animais desafiados com *E. coli* também não encontraram diferença na morfologia intestinal entre leitões que receberam óxido de zinco encapsulado ou altas doses de óxido de zinco, sendo que ambos os tratamentos foram superiores ao de baixa inclusão. Porém, utilizaram um desafio de 3×10^{10} UFC, enquanto no presente estudo foram utilizados 2×10^6 UFC de *Escherichia coli* K88⁺.

Liu et al. (2014) também não encontraram efeito das diferentes concentrações de óxido de zinco testadas (57, 164 e 2425 ppm de Zn advindo de ZnO) sobre altura de vilosidades e profundidade de cripta no jejuno de leitões, assim como foi observado pelo presente trabalho.

A fonte de fibra na dieta também é um fator capaz de influenciar a morfologia intestinal. Uma dieta rica em fibras insolúveis proporciona maiores vilosidades e relação vilosidade/cripta no intestino delgado (CHEN, et al., 2015).

É importante que se atente à solubilidade das fibras fornecidas. Nesse estudo 100% das fibras usadas como aditivo eram insolúveis, isso é importante, pois um aumento na viscosidade do conteúdo intestinal, causado pelo fornecimento de fibras solúveis, pode ter efeitos negativos sobre a morfologia da mucosa. A alta viscosidade causa esfoliação no ápice das vilosidades, levando à sua atrofia e ao aumento da profundidade de cripta (SCHIAVON et al., 2004).

No entanto, nem sempre as fibras alteram a morfologia intestinal, como foi observado nas análises histológicas deste estudo, e em concordância com o resultado obtido por Berrocoso et al. (2015). Esse autor observou que o que pode ser alterado pela inclusão de fibras dietéticas é a digestibilidade da dieta, que foi prejudicada em seu estudo.

Entre os tratamentos, não houve diferença significativa para o coeficiente de digestibilidade da matéria seca e nem para o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito dos tratamentos sobre o coeficiente de digestibilidade da matéria seca – CDMS e o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta – CDA (PB).

	CN	OZ	OZ+F	ZE	ZE+F	C.V., %	Valor de P
CDMS	80,86	81,34	80,77	80,48	81,03	2,77	0,9578
CDPB	71,06	72,34	70,57	69,94	73,37	5,65	0,5586

Controle negativo com inclusão de 139 ppm de ZnO 72%; OZ - Ração basal com ZnO 72%, sendo a inclusão de 2500 ppm de 21 a 35 dias e 1500 ppm de 36 a 63 dias; OZ+F - Ração basal com ZnO 72% e fibra dietética, sendo a inclusão de 2500 ppm de ZnO e 8000 ppm de fibra dietética de 21 a 35 dias, 1500 ppm de ZnO e 6000 ppm de fibra dietética de 36 a 49 e 1500 ppm de ZnO de 50 a 63 dias; ZE - Ração basal com a inclusão de 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 63 dias; ZE+F - Ração basal, com a inclusão de 8000 ppm de fibra dietética e 800 ppm de Zn encapsulado de 21 a 35 dias, 6000 ppm de fibra dietética e 500 ppm de Zn encapsulado de 36 a 49 dias e 500 ppm de Zn encapsulado de 50 a 63 dias.

Os dados encontrados contradizem os resultados obtidos por O'Shea et al. (2014), que observaram melhora na digestibilidade de diferentes componentes da dieta quando os animais receberam óxido de zinco.

É conhecido o fato de que vilosidades mais longas no jejuno aumentam a atividade das sacaridases (PLUSKE; WILLIAMS; AHEME, 1996). Pode-se deduzir então que o mesmo ocorra com a atividade de outras enzimas da borda em escova, influenciando diretamente na digestibilidade da dieta, porém, como foi visto anteriormente, nesse trabalho não houve efeito dos tratamentos sobre a altura das vilosidades no jejuno, o que ajuda a explicar a falta de efeito dos tratamentos sobre a digestibilidade.

Outro fator que pode influenciar o perfil da atividade enzimática no duodeno é a quantidade de fibras na dieta, sendo que a fonte dessas fibras também é um ponto relevante. Fibras insolúveis aumentam a atividade das enzimas tripsina, amilase e lipase (CHEN et al., 2015).

As fibras detergente neutras compõem as fibras insolúveis de um ingrediente (SOEST; ROBERTSON; LEWIS, 1991), essas fibras aumentam a taxa de passagem no intestino, ou seja, reduzem o tempo que a digesta passa no lúmen intestinal (WILFART et al., 2007).

Sendo assim, ao mesmo tempo em que as fibras insolúveis aumentam a atividade enzimática, elas aumentam a taxa de passagem da digesta, resultando em um efeito negativo sobre a digestibilidade da dieta (CHEN et al., 2015).

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista as condições estabelecidas no estudo, o fornecimento de doses farmacológicas de óxido de zinco é eficiente no controle da diarreia pós-desmame, assim como o zinco encapsulado associado à fibra dietética, porém, não interferem no desempenho de leitões desmamados.

REFERÊNCIAS

- BERROCOSO, J.D. et al. Effects of fiber inclusion on growth performance and nutrient digestibility of piglets reared under optimal or poor hygienic conditions. **Journal of Animal Science**, Champaign, n. 8, p. 3919-3931, 2015.
- BIN, L. et al. *In-vitro* assessment of the effects of dietary fibers on microbial fermentation and communities from large intestinal digesta of pigs. **Food Hydrocolloids**, Oxford, n. 25, p. 180-188, 2011.
- BLIKSLAGER, A. T. et al. Restoration of barrier function in injured intestinal mucosa. **Physiology Review**, Palo Alto, n. 87, p. 545-564, 2007.
- BONDIZIO, A. et al. **Feeding low or pharmacological concentrations of zinc oxide changes the hepatic proteome profiles in weaned piglets**. 2013. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0081202>>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- BROOM, L. J. et al. Effects of zinc oxide and *Enterococcus faecium* SF68 dietary supplementation on the performance, intestinal microbiota and immune status of weaned piglets. **Research in Veterinary Science**, London, n. 80, p. 45-54, 2006.
- CHEN, H. et al. Arabinoxylan in Wheat Is More Responsible Than Cellulose for Promoting Intestinal Barrier Function in Weaned Male Piglets. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 145, n. 1, p. 51-58, 2013.
- CHEN, H. et al. Comparison of jejunal digestive enzyme activities, expression of nutrient transporter genes, and apparent fecal digestibility in weaned piglets fed diets with varied sources of fiber. **Journal of Animal and Feed Sciences**, Jablonna, n. 24, p. 41-47, 2015.
- DAVIN, R. et al. Effect of weaning and in-feed high doses of zinc oxide on zinc levels in different body compartments of piglets. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, n. 97, p. 6-12, 2013.
- GUELER, T. R. et al. Uso de ácido benzoico na dieta de leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 11, p. 2182-2187, 2009.
- GU, X.; LI, D. Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, n. 109, p. 151-170, 2003.
- HARA, H.; KONISHI, A.; KASAI, T., Contribution of the Cecum and Colon to Zinc absorption in rats. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, n. 130, p. 83-89, 2000.
- HILL, G. M. Minerals and mineral utilization in swine. In: CHIBA, L. I. (Ed.). **Sustainable swine nutrition**. Ames: J. Willey, 2001. p. 173-195.
- HOJBERG, O. et al. Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned piglets. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, n. 71, p. 2267-2277, 2005.
- IAIN, A. B. The physiological roles of dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, Oxford, n. 25, p. 238-250, 2011.

- JING, W. et al. *In vitro* fermentation of xylooligosaccharides from wheat bran insoluble dietary fiber by bifidobacteria. **Carbohydrate Polymers**, Barking, n. 82, p. 419-423, 2010.
- JOHNSON, E.; CONWAY, P. Probiotics for pigs. In: FULLER, R. (Ed.). **Probiotics: the scientific basis**. London: Chapman e Hall, 1992. cap. 11, p. 259-315.
- KIARIE, E. et al. Growth performance and gastrointestinal microbial ecology responses of piglets receiving *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products after an oral challenge with *Escherichia coli* (K88). **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 1062-1078, 2010.
- KIM, S. J. et al. Effects of a lipid-encapsulated zinc oxide dietary supplement, on growth parameters, and intestinal morphology in weanling pigs artificially infected with enterotoxigenic *Escherichia coli*. **Journal of Animal Science and Technology**, Daegu, v. 57, p. 4, 2015.
- KWON, C. H. et al. Effects of dietary supplementation of lipid-encapsulated zinc oxide on colibacillosis, growth and intestinal morphology in weaned piglets challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli*. **Animal Science Journal**, Tokyo, n. 85, p. 805-813, 2014.
- LIMA, G. J. M. M.; MORÉS, N.; SANCHES, R. L. As Diarreias Nutricionais na Suinocultura. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 37, p. 17-30, 2009.
- LING, P.; SCHWARTZ, J.; BISTRIAN, B. Mechanisms of host wasting induced by administration of cytokines in rats. **American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism**, Bethesda, n. 272, v. 3, p. 333-339, 1997.
- LIU, H. W. et al. Supplemental dietary tryptophan modifies behavior, concentrations, of salivary-cortisol, plasma epinephrine, norepinephrine and hypothalamic 5-hydroxytryptamine in weaning piglets. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 151, p. 213-218, 2013.
- LIU, P. et al. Effect of dietary zinc oxide on morphological characteristics, mucin composition and gene expression in the colon of weaned piglets. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0091091>>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- MACFARLANE, S.; MACFARLANE, G. T.; CUMMINGS, J. H. Review article: prebiotics in the gastrointestinal tract. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, Oxford, n. 24, p. 701-7014, 2006.
- MAROUNEK, M. et al. Nitrogen and in vitro fermentation of nitrogenous substrates in caecal contents of the pig. **Acta Veterinaria Brno**, Brno, n. 71, p. 429-433, 2002.
- MA, Y. X. et al. The effects of fiber source on organ weight, digesta pH, specific activities of digestive enzymes and bacterial activity in the gastrointestinal tract of piglets. **Journal Animal**, Cambridge, n. 15, p. 1482-1488, 2002.
- MEDANI, M. et al. Zinc sulphate attenuates chloride secretion in human colonic mucosae in vitro. **European Journal of Pharmacology**, Amsterdam, n. 696, p. 166-171, 2012.
- MOLIST, F. et al. Effect and interaction between wheat bran and zinc oxide on productive performance and intestinal health in post-weaning piglets, **British Journal of Nutrition**, Cambridge, n. 105, p. 1592-1600, 2011.

- O'SHEA, C. J. et al. Effect of the interaction of seaweed extracts containing laminarin and fucoidan with zinc oxide on the growth performance, digestibility and faecal characteristics of growing piglets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, n. 111, p. 798-807, 2014.
- PARROT, R. F. et al. Intravenous administration of cholecystokinin (CCK) stimulates prolactin and growth hormone release in the pig. **Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology**, Barcelona, n. 78, p. 1087-1098, 1995.
- PASCOAL, L. A. F. et al. Purified cellulose, soybean hulls and citrus pulp as a source of fiber for weaned piglets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 5, p. 400-410, 2015.
- PLAYNE, M. J. Determination of ethanol, volatile fatty acids, lactic acid, and succinic acids in fermentation liquids by gas chromatography. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 36, p. 638-644, 1985.
- PLUSKE, J. R.; WILLIAMS, I. H.; AHME, F. X. Maintenance of villous height and crypt depth in piglets by providing continuous nutrition after weaning. **Animal Science**, Penicuik, n. 62, p. 131-144, 1996.
- REYNOLDS, F. H.; FORBES, J. M.; MILLER, H. M. Does the newly weaned piglet select a zinc oxide supplemented feed, when given the choice? **Animal**, Cambridge, n. 4, v. 8, p. 1359-1367, 2010.
- ROSELI, M. et al. Zinc oxide protects cultured enterocytes from the damage induced by Escherichia coli. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, n. 133, p. 4077-4082, 2003.
- SARGEANT, H. R. et al. Dietary zinc oxide affects the expression of genes associated with inflammation: Transcriptome analysis in piglets challenged with ETEC K88. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, Amsterdam, n. 137, p. 120-129, 2010.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS user's guide: statistics**. Cary, 2009. (Version 9.3).
- SCHIAVON, S. et al. Effects of sugar beet pulp on growth and health status of weaned piglets. **Journal of Animal Science**, Champaign, n. 4, p. 337-351, 2004.
- SHEN, J. et al. Coated zinc oxide improves intestinal immunity function and regulates microbiota composition in weaned piglets. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, n. 111, p. 2123-2134, 2014.
- SILVEIRA, H. **Ácido benzóico para leitões na fase inicial: avaliação *in vivo* e *ex vivo***. 2014. 121 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.
- STARKE, I. C. et al. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, n. 87, p. 416-427, 2013.
- WALK, C. L.; WILCOCK, P.; MAGOWAN, E. Evaluation of the effects of pharmacological zinc oxide and phosphorus source on weaned piglet growth performance, plasma minerals and mineral digestibility. **Animal**, Cambridge, n. 9, v. 7, p. 1145-1152, 2015.
- WANG, J. et al. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 138, p. 1025-1032, 2008.

WILFART, A. et al. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, n. 98, p. 54-62, 2007.

YIN, J. et al. Dietary supplementation with zinc oxide stimulates ghrelin secretion from the stomach of Young pigs. **Journal of Nutrition Biochemistry**, Oxford, n. 20, p. 783-789, 2009.

ZHONG, Y. et al. Protective effect of galactooligosaccharide-supplemented enteral nutrition on intestinal barrier function in rats with severe acute pancreatitis. **Clinical Nutrition**, Edinburgh, n. 28, p. 575-580, 2009.