



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DEBORAH MARROCOS SAMPAIO VASCONCELOS

SUPLEMENTAÇÃO MINERAL INJETÁVEL (FOSFOSAL®) EM FÊMEAS SUÍNAS
SOBRE PARÂMETROS REPRODUTIVOS E DESEMPENHO PRODUTIVO DOS
LEITÕES NA MATERNIDADE

FORTALEZA

2023

DEBORAH MARROCOS SAMPAIO VASCONCELOS

SUPLEMENTAÇÃO MINERAL INJETÁVEL (FOSFOSAL®) EM FÊMEAS SUÍNAS
SOBRE PARÂMETROS REPRODUTIVOS E DESEMPENHO PRODUTIVO DOS
LEITÕES NA MATERNIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Zootecnia. Linha de pesquisa: Produção de não Ruminantes.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V45s Vasconcelos, Deborah Marrocos Sampaio.
Suplementação mineral injetável (Fosfosal®) em fêmeas suínas sobre parâmetros reprodutivos e desempenho produtivo dos leitões na maternidade / Deborah Marrocos Sampaio Vasconcelos. – 2023. 46 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe.

1. Antioxidante. 2. Colostro. 3. Oxidação lipídica. 4. Perda de peso. I. Título.

CDD 636.08

DEBORAH MARROCOS SAMPAIO VASCONCELOS

SUPLEMENTAÇÃO MINERAL INJETÁVEL (FOSFOSAL®) EM FÊMEAS SUÍNAS
SOBRE PARÂMETROS REPRODUTIVOS E DESEMPENHO PRODUTIVO DOS
LEITÕES NA MATERNIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de concentração: Zootecnia. Linha de pesquisa: Produção de não Ruminantes.

Aprovada em: 04/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ednardo Rodrigues Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Lina Raquel Santos Araújo
EMATER-CE

Prof. Dr. Thalles Ribeiro Gomes
Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Ao meu vizinho, Walder D. Sampaio.

Ao meu pai, Walder D. Sampaio.

Eu te amo e te carrego em mim.

25.08.1933 – 03.07.2023

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe, por acreditar, compreender, ensinar e me acalmar em diversos momentos dessa caminhada;

ao querido Prof. Dr. José Nailton Bezerra Evangelista, que só me incentivou desde o primeiro instante em que apareci na porta da sua sala;

ao Prof. Dr. Ricardo Toniolli e ao grupo do LRSTS (2015), por me abduzirem para o universo da suinocultura. Afinal, foi onde tudo começou!

ao Dr. Tiago Silva Andrade, por sempre estar de portas abertas, pela amizade e por dividir um pouco dessa energia que você carrega.

Agradecimento especial a Agro One, por todo o apoio, toda a compreensão e pelos momentos cedidos para que a realização desse projeto fosse possível.

Gratidão total aos abençoados da equipe do Núcleo de Estudos em Suinocultura da UFC e CIA, em especial a Ingrid Barbosa, a Yasmim Dantas, ao Paulo Natanael, ao José Ramon e ao Ítalo Chaves. Realmente não sei como eu teria feito isso sem vocês, meus amores. MUITÍSSIMO obrigada!

Obrigada a todos meus amigos que tiveram que aguentar meus resmungos e lamentações e deram força além de rir. A vida fica mais suave de viver com vocês.

As minhas queridas mãe e avó, Diva Marrocos e Adalha Marrocos, porque sempre. É de vocês essa força que carrego em mim. Só gratidão. Mãezinha, eu te amo! Vozinha, eu te amo!

Ao meu amor. Meu parceiro. Meu companheiro. A fonte das minhas maiores raivas e ao mesmo tempo das minhas melhores risadas. Obrigada, meu bem, por compartilhar a vida comigo e pela nossa família. Ao meu marido, Diego Meira.

RESUMO

Objetivou-se avaliar a suplementação mineral injetável (SMI) em matrizes suínas de diferentes ordens de parto sobre o desempenho reprodutivo, composição do leite e parâmetros sanguíneos, bem como sobre o desempenho e análise bioquímica do sangue de suas leitegadas. Foram selecionadas 208 matrizes suínas, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4, considerando quatro grupos de SMI e quatro grupos de ordem de parto (OP), totalizando 16 tratamentos com 13 repetições cada. As matrizes foram divididas em quatro grupos: 1ª OP, 2ª OP, 3ª e 4ª OP e $\geq 5^{\text{a}}$ OP. Os grupos de suplementação foram: CONCON – aplicação de soro cinco dias antes da inseminação artificial (IA) e aos 90 dias de gestação; FOSCON – SMI cinco dias antes da IA e aplicação de soro aos 90 dias de gestação; CONFOS – aplicação de soro cinco dias antes da IA e SMI aos 90 dias de gestação; FOSFOS – SMI cinco dias antes da IA e aos 90 dias de gestação. Não houve interação entre a SMI e OP sobre os parâmetros reprodutivos ou desempenho dos leitões. No entanto, fêmeas do grupo FOSFOS apresentaram menores perdas de peso, peso percentual e de proteína corporal em relação às fêmeas do grupo CONCON. Porcas $\geq 5^{\text{a}}$ OP apresentaram maior peso ao parto e ao desmame em relação às demais parições, com menores perdas de peso e percentual em relação às fêmeas de 1ª OP. Fêmeas $\geq 5^{\text{a}}$ OP também apresentaram maior espessura de toucinho ao parto e ao desmame e de proteína corporal em relação às fêmeas de 1ª OP. Já as matrizes de 2ª e 3ª e 4ª OP apresentaram maior produção estimada de leite em relação às de 1ª e $\geq 5^{\text{a}}$ OP. Porcas $\geq 5^{\text{a}}$ OP apresentaram maior número de leitões nascidos em relação às de 1ª e 2ª OP. Entretanto, as fêmeas de 1ª OP apresentaram maior número de leitões ao desmame, em relação às de $\geq 5^{\text{a}}$ OP. Porcas de 3ª e 4ª OP apresentaram maior peso de leitegada e de leitão ao nascer em relação às de 1ª OP. Ao desmame, porcas de 2ª e 3ª e 4ª OP apresentaram maior peso da leitegada e de leitão em relação às de 1ª e $\geq 5^{\text{a}}$ OP, com resposta semelhante no ganho de peso da leitegada e do leitão. A composição do colostro e do leite das porcas não foi alterada entre grupos de suplementação ou OP. Foram observados maiores valores de albumina para os três grupos suplementados em relação ao grupo CONCON. O nível de globulina sérica foi maior em fêmeas do grupo CONCON em relação aos três grupos suplementados. Já a glutatona peroxidase (GSH-PX) sérica teve níveis superiores nas fêmeas do grupo FOSFOS, seguido pelas CONFOS, enquanto as porcas FOSCON não diferiram das CONCON. Porcas $\geq 5^{\text{a}}$ OP apresentaram maior concentração de proteínas totais em relação às de 1ª OP. A GSH-PX também foi superior em porcas $\geq 5^{\text{a}}$ OP, mas só quando comparadas às de 2ª OP. No

desdobramento das interações, dentro dos grupos de suplementação, CONCON de 1ª OP e ≥5ª OP apresentaram maiores quantidades de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) comparando com matrizes de 2ª a 4ª OP. Já no tratamento CONFOS, superóxido dismutase (SOD) e catalase apresentaram níveis significativamente mais baixos nas ≥5ª OP, em relação às demais parições. Enquanto na FOSCON a catalase se mostrou superior nos grupos de 2ª a 4ª OP. Não tiveram diferenças entre OP dentro do tratamento FOSFOS. Os leitões de porcas FOSFOS apresentaram maior concentrações de GSH-PX em relação aos leitões das demais fêmeas. Por sua vez, os leitões CONFOS apresentaram maiores valores de GSH-PX sérica em relação aos leitões FOSCON, que também foi superior aos leitões CONCON. Menores valores de TBARS sérico foi observado nos leitões FOSFOS em relação aos CONCON e os FOSCON, não diferindo CONFOS. Leitões de matrizes de 2ª OP apresentaram níveis superiores de hematócrito e monócitos em relação aos leitões das matrizes ≥5ª OP, enquanto leitões de matrizes de 1ª OP apresentaram menor concentração de proteínas totais quando comparados aos de matrizes ≥5ª OP. Conclui-se que a suplementação mineral injetável (P, Cu, K, Mg e Se) em matrizes suínas antes da inseminação artificial e aos 90 dias de gestação tem efeito benéfico, levando a menores perdas corporais maternas durante a lactação e melhorando o perfil sérico antioxidante, independentemente da ordem de parto, assim como o perfil sérico antioxidante de suas leitegadas.

Palavras-chave: antioxidante; colostro; oxidação lipídica; perda de peso.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate injectable mineral supplementation (IMS) in swine sows of different parity orders (PO) on reproductive performance, milk composition, and blood parameters, as well as on the performance and biochemical analysis of the blood of their litters. Sows (n=208) were selected and distributed in a 4 x 4 factorial completely randomized design consisting of four IMS groups and four groups of PO, totaling 16 treatments with 13 repetitions each. The sows were divided into four groups: 1st PO, 2nd PO, 3rd and 4th POs, and ≥ 5 th PO. The supplementation groups were: CONCON – application of serum five days before artificial insemination (AI) and at 90 days of gestation; FOSCON – IMS 5 days before AI and application of serum at 90 days of gestation; CONFOS - application of serum five days before AI and IMS at 90 days of gestation; FOSFOS – IMS five days before AI and at 90 days of gestation. There was no interaction between IMS and PO on reproductive parameters or piglet performance. However, FOSFOS sows showed lower weight, percentage weight, and body protein losses than CONCON females. Sows ≥ 5 th PO had higher weight at farrowing and weaning than other POs with lower weight and percentage losses than 1st PO sows. Females ≥ 5 th PO also had greater backfat thickness at farrowing and weaning and body protein than 1st PO sows. On the other hand, the 2nd PO, and 3rd and 4th POs sows showed higher estimated milk production than the 1st and ≥ 5 th PO sows. Females ≥ 5 th PO had more piglets born than females from the 1st and 2nd POs. However, 1st PO sows had more piglets at weaning than ≥ 5 th PO sows. Sows from the 3rd and 4th POs had higher litter and piglet weight at birth than those from the 1st PO. At weaning, sows of the 2nd PO and 3rd and 4th POs had higher litter and piglet weight compared to the 1st and ≥ 5 th POs, with a similar response in litter and piglet weight gain. The composition of colostrum and sow milk did not change between supplementation or PO groups. Higher albumin values were observed for the three supplemented groups than for the CONCON group. The serum globulin level was higher in CONCON females than in the three supplemented groups. Glutathione peroxidase (GSH-PX) had higher levels in FOSFOS females, followed by CONFOS, while FOSCON sows did not differ from CONCON. Sows ≥ 5 th PO had a higher concentration of total proteins than 1st PO females. GSH-PX was also superior in sows ≥ 5 th PO, but only when compared to 2nd PO. In the breakdown of interactions within the supplementation groups, CONCON from 1st and ≥ 5 th POs presented higher levels of thiobarbituric acid reactive species than sows from the 2nd to 4th POs. In the CONFOS treatment, superoxide dismutase (SOD) and catalase presented significantly lower levels in the ≥ 5 th PO compared to the other parturition orders. In FOSCON sows, catalase was superior in

the 2nd to 4th PO groups. There were no differences between POs within the FOSFOS treatment. Piglets from FOSFOS sows showed higher concentrations of GSH-PX than piglets from other sows. In turn, CONFOS piglets had higher serum GSH-PX values than FOSCON piglets, which was also higher than CONCON piglets. Lower serum TBARS values were found in FOSFOS piglets compared to CONCON and FOSCON, not differing from CONFOS. Piglets from 2nd PO sows had higher levels of hematocrit and monocytes than piglets from ≥ 5 th PO sows, and piglets from 1st PO sows had lower total protein concentrations than those from ≥ 5 th PO sows. In short, injectable mineral supplementation (P, Cu, K, Mg, and Se) in sows before artificial insemination and at 90 days of gestation has a beneficial effect, leading to lower maternal body losses during lactation and improving the serum antioxidant profile, regardless of the parity order, as well as the serum antioxidant profile of their litters.

Keywords: antioxidant; colostrum; lipid oxidation; weight loss.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | – Composição mineral do suplemento utilizado no estudo | 23 |
| Tabela 2 | – Ingredientes e composição nutricional das rações fornecidas às porcas durante a gestação e lactação | 24 |
| Tabela 3 | Desempenho de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos | 28 |
| Tabela 4 | – Desempenho de leitões provenientes de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos | 31 |
| Tabela 5 | – Composição do colostro e leite de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos | 33 |
| Tabela 6 | – Parâmetros sanguíneos de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos | 35 |
| Tabela 7 | – Desdobramento de interação entre suplementação mineral injetável em diferentes períodos e ordem de parto sobre superóxido dismutase, catalase e TBARS séricos de porcas | 37 |
| Tabela 8 | – Parâmetros sanguíneos de leitões provenientes de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos..... | 39 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 | Exigência de minerais em matrizes suínas hiperprolíficas | 14 |
| 2.2 | Metabolismo de minerais na reprodução | 15 |
| 2.3 | Suplementação mineral de matrizes suínas na reprodução | 18 |
| 2.3.1 | <i>Suplementação mineral dietética</i> | 19 |
| 2.3.2 | <i>Suplementação mineral parenteral</i> | 21 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 26 |
| 5 | CONCLUSÃO | 41 |
| | REFERÊNCIAS | 42 |

1 INTRODUÇÃO

A produtividade da fêmea suína aumentou de forma substancial nos últimos anos, apresentando maior precocidade e prolificidade, o que tem possibilitado maior número de leitões nascidos e desmamados/porca/ano e, conseqüentemente, maior número de animais destinado ao abate (AGRINESS, 2020). Apesar dos avanços, essa intensa seleção genética tornou as porcas mais exigentes nutricionalmente e com padrão de consumo alimentar muitas vezes insuficiente para atender às exigências das fases de gestação e lactação, o que pode levar a mobilizações de reservas corporais e/ou a quadros de deficiência nutricional (FONTES et al., 2011), podendo levar à diminuição da longevidade e do número de parições da fêmea no plantel.

Durante a gestação e a lactação, observa-se que além das perdas relacionadas aos tecidos muscular e adiposo, as fêmeas suínas hiperprolíficas também apresentam redução substancial no conteúdo mineral durante essas fases reprodutivas em comparação com matrizes de linhagens de menor desempenho, indicando que as necessidades de minerais para a reprodução são maiores à medida que a produtividade da fêmea aumenta (MAHAN et al. 2009). Segundo esses autores, matrizes suínas hiperprolíficas apresentam depleção mineral mais crítica durante a gestação, principalmente de selênio, cobre, magnésio, cálcio e fósforo.

Nesse sentido, dentre as diversas funções no organismo, o selênio (Se) e cobre (Cu) são cofatores essenciais de diversas enzimas antioxidantes, como a glutathiona peroxidase e superóxido dismutase, que atuam ao proteger as membranas celulares dos radicais livres, ao inibir a formação de peróxidos durante a oxidação dos lipídios da membrana celular (CATANIA et al., 2009; OVERTON; YASUI, 2014). Além disso, o Cu exerce ainda função sobre algumas células do sistema imune, como os neutrófilos, monócitos e células T (WINTERGERST et al., 2007), importantes componentes do colostro para sobrevivência dos leitões. Em relação ao anabolismo muscular e ósseo, o cálcio (Ca) e o fósforo (P) são componentes essenciais para a síntese proteica e dos tecidos fetais (GONZÁLEZ, 2017), cuja ação é mediada pelo magnésio (Mg) como regulador da função mitocondrial e como cofator durante a fosforilação oxidativa.

Na reprodução animal, a deficiência desses minerais pode ser associada a diversas desordens metabólicas, como retenção placentária, anestro, baixa função ovariana e ciclos irregulares, comprometendo o desempenho reprodutivo das fêmeas, bem como o crescimento e desenvolvimento de suas progênes (SOLDA et al., 2017; ZHAO et al., 2015). Dessa forma, a suplementação mineral em matrizes suínas durante a gestação e lactação pode ser utilizada

como importante estratégia para garantir o fornecimento de nutrientes essenciais previamente às épocas de maior desafio metabólico-nutricional e, assim, evitar perdas na produtividade.

Na suinocultura, a suplementação mineral pode ser realizada por meio do fornecimento na dieta ou por aplicação subcutânea. Embora ainda seja o método mais utilizado, a suplementação de minerais via dieta está susceptível a problemas na absorção e biodisponibilidade pela interação com outros elementos nutricionais ou até mesmo pelo consumo que pode ser diferenciado entre os animais (MACHADO et al., 2013). Nesse contexto, a suplementação mineral injetável pode se tornar uma alternativa mais segura e eficaz, uma vez que os minerais são imediatamente disponibilizados na corrente sanguínea sem sofrer nenhum tipo de alteração por processos digestivos e/ou absorptivos. Observa-se ainda que o uso de complexos minerais injetáveis pode reduzir os índices de retenção de placenta e endometrite puerperal, além de promover melhorias nos parâmetros reprodutivos, sistema imune e status oxidante/pro-oxidante em fêmeas bovinas gestantes e lactantes (ESPOSITO et al., 2014; GANDA et al., 2016; MAHAN et al., 2009; SOLDA et al., 2017). No entanto, estudos que avaliam os efeitos da suplementação mineral injetável em fêmeas suínas, conforme as ordens de parto, ainda são escassos e os resultados têm sido variáveis (MAHAN et al., 2009; PETERS; MAHAN, 2008; CADAVID, 2014; REOLON et al., 2016).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o impacto da suplementação mineral injetável em matrizes suínas de diferentes ordens de parto sobre o desempenho reprodutivo, composição do leite e parâmetros sanguíneos das fêmeas, bem como sobre o desempenho e a análise bioquímica do sangue de suas leitegadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Exigência de minerais em matrizes suínas hiperprolíficas

O melhoramento genético de matrizes suínas tem trabalhado no desenvolvimento de uma matriz cada vez mais produtiva, com maior precocidade reprodutiva e ganho de peso corporal adequado. Porém, em decorrência desse desenvolvimento, a fêmea suína atual demanda maior aporte nutricional, apresentando menos reservas corporais e capacidade de ingestão incompatíveis com as demandas metabólicas ocasionadas pelas fases de gestação e lactação, especialmente quando em condições de estresse (BETARELLI et al., 2013; OLIVEIRA, 2020).

Somando-se a esses fatores, as pesquisas com exigências de minerais para suínos são antigas, sendo a maioria mensurada de forma empírica e com animais de menor potencial genético (RUTZ; MURPHY, 2009). Os macro e os microminerais têm suas necessidades significativamente aumentadas em linhagens de matrizes de alta produtividade, em que fêmeas de maior produção apresentam também maiores perdas de minerais corporais comparadas com as de menor desempenho (ESQUERRA, 2011). Embora os valores de exigências de minerais ainda sejam comumente utilizados, existe a possibilidade de déficits, excesso ou interações adversas entre minerais via dieta, que diminuem a disponibilidade, podendo resultar em baixo desempenho e maior excreção para o ambiente (LEESON, 2008).

Mesmo entre linhagens mais atuais, em que se tem as recomendações nutricionais mais detalhadas, os intervalos entre valores de máxima e mínima podem ser muito amplos, existindo ainda diferenças nessa exigência de minerais a depender das características de desempenho da linhagem da matriz em questão (TOPIGS, 2017; CHOICE, 2018).

Embora a composição mineral e o padrão de desenvolvimento fetal estejam sobre limitações genéticas, a prolificidade e o desenvolvimento dos leitões também podem afetar a exigência mineral das porcas. Considerando a diversidade de fatores que influenciam na quantidade de leitões que nascem e que determinam a real demanda de minerais da matriz, alta produtividade indica que o fornecimento de minerais deve ser mais elevado, sendo proporcional à exigência da matriz (MAHAN et al., 2009). Segundo Mahan et al. (2009), há maior depleção mineral, especialmente de Se, Cu, Mg, Ca e P, em matrizes suínas hiperprolíficas durante a gestação.

Mahan e Newton (1995) demonstraram que porcas de leitegadas mais pesadas ao desmame apresentaram maiores perdas minerais corporais do que porcas de menor produtividade, indicando que quanto melhor o desempenho da matriz, maior é a exigência mineral, sendo essa queda um indicativo de que os minerais fornecidos pela dieta não foram suficientes para que a matriz pudesse atingir seu pleno potencial nessas fases críticas, podendo levar ao esgotamento das reservas corporais e ao comprometimento da longevidade das reprodutoras.

2.2 Metabolismo de minerais na reprodução

Apenas 16 dos 96 elementos minerais catalogados são de importância nutricional, sendo essenciais para que ocorra o bom funcionamento do organismo como um todo, atuando desde a formação esquelética, sistemas reprodutivo, imune e respiratório (ESPÍNDOLA, 2016).

A importância dos minerais na fisiologia reprodutiva de suínos é evidente tanto pela participação na sobrevivência fetal, no número de leitões nascidos e em resultados como o aumento do peso ao nascer, estando envolvidos nos processos metabólicos diretos desde a maturação sexual das matrizes, a fecundação e manutenção da gestação, sendo, especialmente, Se e Cu, os minerais de grande importância no desenvolvimento e na sobrevivência embrionária (REOLON, 2014), bem como observa-se também a relação entre P, Mg e K e a reprodução de suínos (GONZÁLES; SILVA, 2017).

O Se e o Cu são cofatores essenciais de diversas enzimas antioxidantes, como a glutathione peroxidase e a superóxido dismutase, respectivamente, que atuam ao proteger as membranas celulares dos radicais livres, ao inibir a formação de peróxidos durante a oxidação dos lipídios da membrana celular (CATANIA et al., 2009; OVERTON; YASUI, 2014). Sob o ponto de vista reprodutivo, a glutathione peroxidase atua na formação dos ovócitos e na maturação dos folículos ovulatórios, protegendo a membrana lipídica dos ovócitos contra a peroxidação, para evitar a ruptura dessa membrana e danos irreversíveis aos gametas (CARVALHO et al., 2003).

A esteroidogênese parece estar relacionada com a atividade antioxidante das enzimas, tendo em vista que o oócito dentro do folículo está naturalmente exposto a algum grau de estresse oxidativo (APPASAMY et al., 2007). Esse estresse oxidativo, quando em altas proporções, pode danificar os embriões através da peroxidação dos fosfolipídios da membrana, além de alterar diversos tipos de moléculas celulares, como proteínas e ácidos nucleicos, conseqüentemente levando a danos mitocondriais, bloqueio do desenvolvimento embrionário e até apoptose (WANG et al., 2002). Assim, a presença de antioxidantes enzimáticos como a glutathione peroxidase e a superóxido dismutase nos fluidos foliculares e oviduto parecem proteger os oócitos e embriões do estresse oxidativo (ANDRADE et al., 2010).

O Se tem atuação importante no equilíbrio do ambiente uterino, pois essa função antioxidante torna o meio uterino também mais favorável para receber os espermatozoides no momento da cobertura, assim como para acomodar o embrião e protegê-lo durante a gestação (REOLON, 2014). Além disso, diferentes selenoproteínas convertem o hormônio tireoidiano T4 em T3 nas células reprodutivas e estimulam a síntese de prostaglandina E, que protege o corpo lúteo, possuindo então ação no metabolismo hormonal da progesterona (CARVALHO et al., 2003; CARRAZZA, 2012). Por outro lado, a ausência da selenocisteína, por exemplo, compromete um dos principais mecanismos de oxirredução no organismo, assim como a síntese de material genético, fundamental para o desenvolvimento embrionário, bem como a

deficiência de Se também afeta os níveis sanguíneos de IgG e a função das células T, podendo acarretar na maior prevalência de doenças, inclusive reprodutivas (REOLON, 2014).

O Cu ainda atua como cofator da enzima citocromo oxidase que é vital na produção de ATP na cadeia respiratória (LIM; PAIK, 2006), participa da mineralização dos ossos, da formação e integridade do sistema nervoso central e da manutenção da estrutura do miocárdio (GONZÁLES; SILVA, 2017), importantes no desenvolvimento pré e pós-parto. É responsável também por estimular o hormônio do crescimento, atuar como regulador da lipólise e favorecer a deposição de proteínas a fim de melhorar as características de carcaça (KRISHNAMOORTHY et al., 2016; ZHOU et al., 1994). Além disso, o Cu exerce também a função sobre algumas células do sistema imune, como os neutrófilos, monócitos e células T (WINTERGERST et al., 2007), importantes componentes do colostro para sobrevivência dos leitões.

Em relação ao anabolismo muscular e ósseo, o P e o Ca são componentes essenciais para a síntese proteica e dos tecidos fetais (GONZÁLES; SILVA, 2017), cuja ação é mediada pelo Mg como regulador da função mitocondrial e como cofator durante a fosforilação oxidativa. O P representa o principal sistema tamponante intracelular, na forma de fosfatos. No metabolismo energético, inicialmente todos os monossacarídeos precisam estar fosforilados para entrarem nas vias metabólicas, atuando também na utilização e transferência de energia, além de estar presente na composição dos ácidos nucleicos e participar da atividade da bomba Na/K (GONZÁLES; SILVA, 2019). O P também tem influência no controle do apetite, na eficiência da utilização do alimento para a síntese de tecido muscular e secreção láctea e, ainda, está envolvido no metabolismo e crescimento das bactérias benéficas ao animal. Assim, qualquer restrição ou deficiência de P resulta em perturbações gerais do metabolismo dos animais (GONZÁLES; SILVA, 2019).

Deficiências de Mg também causam alterações em diversos aspectos, como crescimento, imunidade, contração muscular, sobrevivência das hemácias, aparecimento de neoplasias, metabolismo do colágeno e funções do Na e do K (GONZÁLES; SILVA, 2017). O potássio, por sua vez, é cofator e ativador de enzimas ligadas à produção de ATP, atuando na regulação da pressão osmótica e no equilíbrio ácido-básico, além de, juntamente com Mg e Na, serem responsáveis pelo potencial de membranas nas células do sistema nervoso central e dos músculos, pela placa neuromuscular (GONZÁLES; SILVA, 2017).

Os minerais têm, portanto, participação ativa na resposta imune materna, podendo modular a gestação após seu reconhecimento (MICHELON, 2006). Macrófagos, células

natural killer e linfócitos T são recrutados ao útero em fase inicial de gestação, e é proposto que as citocinas liberadas por estas células estimulem o crescimento fetal e placentário (REOLON, 2014). Deficiências podem comprometer o estímulo do sistema imune da fêmea culminando no não reconhecimento da gestação e consequente morte embrionária (NEVES et al., 2007).

A cobertura, o terço final da gestação e a lactação são fases críticas, principalmente do ponto de vista da nutrição mineral. Além da manutenção da saúde embrionária, nas últimas semanas da gestação, a matriz aumenta o direcionamento dos minerais ingeridos na ração para os fetos, com aproximadamente 50% dos minerais sendo transferidos nos últimos 15 dias de gestação (ESQUERRA et al., 2011), assim, se os minerais dietéticos forem fornecidos inadequadamente a matriz tende a mobilizar os minerais das suas reservas corporais, e esse comprometimento das reservas ao parto pode prejudicar o desempenho na lactação e na gestação subsequente (MAHAN et al., 2009).

2.3 Suplementação mineral de matrizes suínas na reprodução

Na nutrição mineral de suínos, alguns aspectos devem ser levados em consideração, como a fonte do mineral, a forma de aplicação e sua biodisponibilidade, podendo ser fornecidos sob as formas orgânicas ou inorgânicas (REOLON, 2014). A suplementação oral através da ração representa um método de suplementação direta contínua, diferentemente da suplementação parenteral, que é um método de suplementação descontínua direta (SUTTLE, 2010).

Comparativamente aos valores de exigência de energia e aminoácidos, para os minerais estes valores apresentam maior intervalo, o que caracteriza falta de definição adequada principalmente para matrizes suínas. Além de valores defasados pela evolução dos genótipos atuais, a forma de suplementação dos minerais também é um indicativo de que há necessidade de novos estudos relacionados à exigência destes compostos. Geralmente, a suplementação mineral para porcas é feita de forma dietética, o que pode resultar em variações nas quantidades metabolizadas ou até mesmo ingeridas pelo animal, visto que os níveis e as proporções dos nutrientes na dieta podem interferir na biodisponibilidade dos minerais (MILES; HENRY, 2000).

Outra preocupação na suplementação de minerais é que a superdosagem com objetivo de aumentar a disponibilidade pode causar efeitos prejudiciais, como diarreia, ou ainda levar à redução da biodisponibilidade de outros minerais, além de não melhorarem sua

concentração no sangue e agravarem a poluição ambiental ao serem excretados (KIEFER, 2005).

Nesse sentido, a suplementação de forma parenteral pode ser uma alternativa para assegurar que os animais receberão a quantidade de nutrientes de forma correta e contornar interações indesejáveis que possam prejudicar a disponibilidade desses minerais.

2.3.1 Suplementação mineral dietética

A suplementação dietética pode ser considerada a natural para a administração de minerais, já que as necessidades dos mesmos são expressas em miligramas ou gramas por quilograma da dieta total, e não em relação ao peso corporal do animal (ROSTAGNO et al., 2017).

Pela variação na biodisponibilidade dos elementos, um dos principais desafios da nutrição é garantir que os nutrientes incluídos na formulação das dietas possam ser de fato aproveitados pelos animais. Embora as tabelas de exigências sejam comumente utilizadas, algumas ponderações são necessárias, considerando as diferenças de exigências nas diversas fases críticas da vida do animal, especialmente em períodos de estresse, além dos diversos fatores que podem afetar a disponibilidade dos minerais presentes na dieta, superestimando sua viabilidade para o metabolismo (MAHAN et al., 2009; RUTZ; MURPHY, 2009; LEESON, 2008).

A forma mais comum de suplementação mineral em suínos ocorre por meio de fontes inorgânicas, que ao chegarem no estômago, sejam em forma de óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos ou fosfatos, terão suas moléculas dissociadas, podendo formar íons metálicos inabsorvíveis. Nesse caso, para que sejam absorvidos é necessário que esses íons livres se unam a um agente ligante, que vai carrear-lo para dentro dos enterócitos e assim são liberados na corrente sanguínea. Porém, é comum que esse encontro de íons e agentes ligantes não ocorra, pois resulta na eliminação do mineral sem aproveitamento (REOLON, 2014).

A baixa biodisponibilidade para absorção dos minerais fornecidos via dieta sob a forma inorgânica é pelas interações de ligação com outros nutrientes, sejam peptídeos, aminoácidos, carboidratos, fibras ou outros minerais antagônicos. (MACHADO et al., 2013). Nesse sentido, há maior interesse para o uso de minerais sob a forma orgânica, visando efeito positivo metabólico e produtivo, visto que apresentam a absorção facilitada, estando unidos a substâncias orgânicas que podem evitar a ligação de outras moléculas ou minerais do meio, diminuindo interações negativas que formariam complexos indigeríveis. Dessa forma, o

mineral sob a forma orgânica pode ligar-se à borda em escova e ser absorvido pelo enterócito, ou o agente orgânico é absorvido levando consigo o elemento mineral (KIEFER, 2005), porém, ainda assim, sua biodisponibilidade não é completa (REOLON, 2014).

Os minerais sob a forma orgânica podem ser definidos como estruturas cíclicas em que um elemento mineral é ligado a agentes carreadores ou quelantes através de ligações covalentes que, a depender do tipo de quelato, podem ter a função de melhorar a absorção e a disponibilidade desse mineral no organismo, aumentando a sua estabilidade física e reduzindo a tendência de desassociação do micromineral ao alimento (ENSMINGER et al., 1990). Na formação dos quelados, algumas moléculas podem atuar como ligantes, que têm função específica no metabolismo, cuja capacidade oxidativa ou "ligante" depende do tamanho da molécula e da presença de radicais carboxílicos (LEESON; SUMMERS, 2001).

O comportamento alimentar dos animais também deve ser ponderado, pois mesmo ofertando dietas devidamente formuladas por fases, indivíduos sobre situação de estresse ou desafios sanitários tendem a reduzir bastante o consumo de alimentos, e assim recebem menor quantidade de minerais (MACHADO et al., 2013), podendo inclusive agravar quadros clínicos. Opostamente, em razão das exigências nutricionais dos minerais terem sido determinadas fundamentalmente utilizando animais de baixo potencial genético e fontes de minerais inorgânicos de baixa biodisponibilidade, como óxidos e sulfatos, pode ocorrer que as necessidades diárias das linhagens de suínos atuais sejam superestimadas quando se utilizam fontes de maior disponibilidade, como no caso dos minerais orgânicos (GALATI, 2021), levando à maior excreção para o ambiente.

Nesse sentido, a partir da suplementação mineral dietética, e considerando o elevado impacto ambiental decorrente da suinocultura, observa-se que a presença de minerais nos dejetos é uma crescente preocupação mundial (CANIATTO, 2011). Suínos podem excretar de 80 a 95% do total diário de Cu e Zn suplementados (NOVAK et al., 2008), por exemplo, sendo o Cu e Zn metais de alta toxicidade para diversas culturas agrônômicas, plantas forrageiras e micro-organismos benéficos ao solo, aumentando o odor dos dejetos e tornando-se uma verdadeira preocupação ambiental em algumas regiões com presença de suinocultura intensiva (JONDREVILLE, et al., 2003; NOVAK et al., 2008; NICHOLSON; CHAMBERS, 2008).

Dentre os macrominerais, o P é também um mineral de atenção prioritária do ponto de vista ambiental pelo seu potencial de eutrofização dos corpos de água superficiais, em virtude do estímulo ao crescimento das algas e macrófitas, diminuindo a qualidade da água,

além de gerar odor desagradável (KUNZ et al., 2007). As algas em alta quantidade morrem e entram em decomposição, cobrindo a superfície e diminuindo a quantidade de oxigênio disponível na água, criando um meio desafiador para os animais desse ecossistema (LÜDKE, et al., 2002; RODRIGUES et al., 2007). Fontes de suplementação que permitam uma absorção facilitada e melhor biodisponibilidade dos minerais, como a suplementação parenteral em suínos favorece a utilização dos minerais pelos animais, reduzindo os requerimentos dietéticos e, assim, diminuindo a poluição ambiental (CANIATTO, 2011; MA et al., 2020).

2.3.2 Suplementação mineral parenteral

Diferentemente da suplementação dietética, quando os minerais são aplicados por via parenteral elimina-se o inconveniente das variações na biodisponibilidade, melhorando a capacidade de absorção, de forma que se supõe que haja completa absorção, possibilitando a mensuração da quantidade a ser aproveitada pelo organismo (GIULIODORI, 1997; PICCO et al., 2006; FAZZIO et al., 2017).

A solução injetável pode ser composta por um ou mais minerais, ou ainda em combinação com vitaminas (OMUR et al., 2016), de maneira que ao atingirem os tecidos subcutâneos ou musculares, os minerais sejam transferidos e disponibilizados imediatamente para a corrente sanguínea, atingindo diversos tecidos ou sendo captados pelo fígado e redirecionados. Dessa forma, a aplicação parenteral pode ser utilizada estrategicamente em situações de maior necessidade, como sistemas que não conseguem garantir um consumo uniforme de ração para todos os animais, de forma terapêutica ou ainda em fases críticas da produção, como gestação, parto e desmame, onde há maior exigência dos minerais (ABUELO et al., 2014; WARKEN, 2018).

Há uma variedade de trabalhos científicos em fêmeas bovinas que relatam que o uso de complexos minerais injetáveis reduz os índices de retenção de placenta e endometrite puerperal, além de promoverem melhorias nos parâmetros reprodutivos, sistema imune e status oxidante/pró-oxidante em fêmeas bovinas gestantes e lactantes (ESPOSITO et al., 2014; GANDA et al., 2016; MAHAN et al., 2009; SOLDA et al., 2017). Até mesmo no caso de estudos com minerais injetáveis em cachacos os resultados são variados, como no trabalho de Silva et al. (2009) em que a suplementação não afetou significativamente as médias de volume, motilidade, aspecto, concentração espermática e total de espermatozoides do sêmen *in natura*, enquanto Cadavid (2010) e Cadavid (2014) observaram melhoras significativas no sêmen *in natura* e após descongelamento 60 dias após a suplementação. Contudo, em relação às matrizes

suínas, esses estudos que avaliam os efeitos da suplementação mineral injetável têm número reduzido e resultados distintos (REOLON et al., 2016; CADAVID, 2014).

Reolon (2014) avaliou leitoas que receberam suplementação mineral injetável composta, principalmente, de zinco (Zn) e Se orgânicos, à puberdade, à primeira cobertura e aos 80 dias pós-cobertura, reaplicando na segunda gestação aos 21 e 80 dias pós-cobertura, observando maior número de leitões nascidos vivos (LNV) e totais (LNT) nos dois partos. Enquanto Cadavid (2014), com a mesma suplementação de Reolon (2014), porém com as marrãs recebendo a suplementação aos 150 e 180 dias de idade e as porcas suplementadas entre os 80 e 90 dias de gestação repetindo a dose no décimo dia da lactação, não se observaram efeitos significativos sobre número de leitões nascidos vivos, peso ao nascimento, peso ao desmame e intervalo desmama-cio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos propostos no presente projeto foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal do Ceará (número do protocolo: 2604202101). O experimento foi realizado em uma granja comercial de suínos, localizada no município de Maranguape – CE, no período de maio a novembro de 2021.

Foram selecionadas 208 matrizes suínas de linhagem comercial hiperprolífica (Topigs Norsvin), de acordo com o peso e espessura de toucinho (ET). A espessura de toucinho foi medida no ponto P2, obtida a 6,5 cm da linha dorso-lombar e a 6,5 cm da última costela na direção cranial, com auxílio de um aparelho de ultrassom (Preg-Tone, Renco®).

As matrizes foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4, considerando quatro grupos de suplementação intramuscular e quatro grupos de ordem de parto (OP), totalizando 16 tratamentos com 13 repetições cada, em que a unidade experimental foi a porca e sua respectiva leitegada. Em relação às OP, as matrizes foram divididas em quatro grupos: 1ª OP, 2ª OP, 3ª e 4ª OP e 5ª a 7ª OP. A formação dos grupos de OP foi estabelecida em função das diferenças existentes entre marrãs, primíparas, fêmeas com melhores índices reprodutivos e matrizes mais velhas.

Os grupos de suplementação foram: CONCON – aplicação de soro cinco dias antes da inseminação artificial (IA) e aos 90 dias de gestação; FOSCON – SMI cinco dias antes da IA e aplicação de soro aos 90 dias de gestação; CONFOS - aplicação de soro cinco dias antes

da IA e SMI aos 90 dias de gestação; FOSFOS – SMI cinco dias antes da IA e aos 90 dias de gestação.

A suplementação mineral foi feita aplicando-se 5 mL de produto comercial (Tabela 1), conforme bula enquanto o controle recebia 5 mL de soro fisiológico, ambos por via intramuscular na tábua do pescoço cinco dias antes da IA e/ou ao pré-parto.

Tabela 1 – Composição mineral do suplemento utilizado no estudo

| Mineral Injetável | 100 mL | 5 mL |
|-------------------------|---------|--------|
| Glicerofosfato de sódio | 14,00 g | 0,70 g |
| Fosfato monossódico | 20,10 g | 1,005g |
| Cloreto de cobre | 0,40 g | 0,02g |
| Cloreto de potássio | 0,60 g | 0,03g |
| Cloreto de magnésio | 2,50 g | 0,125g |
| Selenato de sódio | 0,24 g | 0,012g |

As porcas foram selecionadas no momento do desmame e as marrãs no início do *flushing*, o que correspondeu, aproximadamente, a 15 dias antes da inseminação. Após a primeira suplementação intramuscular, as porcas foram alojadas individualmente em gaiolas de gestação com acesso controlado à ração e disponibilidade de água *ad libitum*. As dietas foram formuladas e ofertadas para atender às exigências nutricionais das porcas em gestação, pré-lactação e lactação (Tabela 2), de acordo com as recomendações contidas no manual da linhagem. Nenhuma outra suplementação mineral injetável foi realizada durante o período experimental.

Aos 110 dias de gestação, as porcas foram novamente pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi medida. Após este processo, as porcas foram transferidas para o galpão da maternidade, onde foram alojadas em celas parideiras individuais contendo comedouros e bebedouros para as matrizes e os leitões, além de abrigo escamoteador com fonte de calor para a leitegada e sistema de resfriamento adiabático evaporativo para as matrizes.

Tabela 2 - Ingredientes e composição nutricional calculados das rações fornecidas às porcas durante a gestação e lactação.

| Ingredientes | Gestação | Pré-lactação | Lactação |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Milho grão | 763,35 | 725,25 | 597,30 |
| Farelo de soja | 185,00 | 195,00 | 155,00 |
| Soja integral extrusada | - | 40,00 | 160,00 |
| Açúcar | - | - | 50,00 |
| Fosfato bicálcico | 17,00 | 16,00 | 16,00 |
| Calcário | 5,00 | 4,00 | 6,00 |
| Sal | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| L-Lisina | 0,40 | 0,55 | 3,20 |
| L-Treonina | 0,25 | 0,20 | 2,50 |
| DL-Metionina 99% | - | - | 1,00 |
| Fibra eubiótica ¹ | 20,00 | 10,00 | - |
| Suplemento mineral e vitamínico ² | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| Peso Total | 1.000,00 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| Composição nutricional e energética calculada | | | |
| Energia metabolizável (kcal/kg) | 3.184,65 | 3.231,52 | 3.334,75 |
| Proteína bruta (%) | 15,03 | 16,65 | 18,64 |
| Extrato etéreo (%) | 3,35 | 4,00 | 5,82 |
| Fibra bruta (%) | 4,31 | 3,83 | 3,34 |
| Cálcio (%) | 0,85 | 0,80 | 0,89 |
| Fósforo total (%) | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| Fósforo disponível (%) | 0,53 | 0,52 | 0,52 |
| Sódio (%) | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| Lisina total (%) | 0,75 | 0,88 | 1,22 |
| Metionina total (%) | 0,55 | 0,59 | 0,72 |
| Treonina total (%) | 0,61 | 0,66 | 0,95 |
| Triptofano total (%) | 0,19 | 0,21 | 0,24 |

¹Opticell. ²Cobalto (100.000mg/kg), Cobre (10.000 g/kg), Ferro (20.000 g/kg), Iodo (250.000 mg/kg), Manganês (8.750,000 mg/kg), Selênio (90,000 mg/kg), Zinco (25,000 g/kg), vitamina A (2.500.000,000), vitamina D3 (450.000,000 UI/kg), vitamina E (7.620,000 UI/kg), vitamina K3 (625,000 mg/kg), vitamina B1 (550,000 mg/kg), vitamina B2 (1.250,000 mg/kg), vitamina B6 (750,000 mg/kg), vitamina B12 (7.500,000 mcg/kg), niacina (7.500,000 mg/kg), ácido pantotênico (4.250,000 mg/kg), ácido fólico (750,000 mg/kg), biotina (100,00 mg/kg), colina (20,530 g/kg), B.H.T. (21,400 g/kg), 6-Fitase (125.000,000 UI/kg).

Após o parto, foi contabilizado o número de leitões nascidos total, vivos, natimortos e mumificados, e as leitegadas foram pesadas até 24 horas após o nascimento. A equalização das leitegadas foi realizada entre leitões de fêmeas do mesmo tratamento até 48 horas após o nascimento, padronizando-se uma média de 13 leitões por porca. Após a equalização, a leitegada foi pesada novamente e os leitões foram identificados com tatuagem na orelha direita.

No segundo dia de vida dos leitões foi realizado o manejo do desgaste dos dentes com pedra porosa rotativa e o corte do terço final da cauda, com termocauterizador, junto com a administração de 200 mg de ferro dextran por via intramuscular. Os leitões receberam medicação oral preventiva contra coccidiose no terceiro dia pós-parto e 0,5 mL de enrofloxacina

injetável como um preventivo contra a diarreia bacteriana. A castração dos machos foi realizada no sétimo dia após o nascimento e os leitões receberam ração pré-inicial a partir do nono dia de vida até o desmame.

Foram selecionadas quatro fêmeas de cada tratamento, de acordo com o peso corporal, e a espessura de toucinho, totalizando 64 porcas, para coleta de colostro, leite e sangue e mais dois leitões de cada fêmea selecionada, totalizando 128 leitões, para coleta de sangue.

As amostras de colostro e leite foram coletadas no momento do parto e aos 18 dias pós-parto, respectivamente. Para a coleta de leite, os leitões foram separados da porca após a primeira mamada pela manhã e 45 minutos depois as porcas foram ordenhadas, de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2009). Após a coleta, as amostras foram identificadas e armazenadas a -20°C , para posteriores determinações dos teores de sólidos totais, gordura, proteína e lactose (Lactoscan Milk Analyzer, Milktronic LTDA).

As amostras de sangue foram coletadas dos leitões aos nove dias de idade e das porcas aos 18 dias pós-parto. Para análise quanto ao hemograma e leucograma, foram coletados 2 mL de sangue por punção da veia jugular, sendo colocados em tubos contendo anticoagulante (EDTA), sendo determinadas as concentrações de hemácias (μL), hemoglobina (g%), hematócrito (%), VCM (μm^3) e CHCM (%). Foi realizada a contagem diferencial de leucócitos, calculando-se as percentagens de linfócitos, neutrófilos segmentados, monócitos e plaquetas. Para a avaliação das proteínas séricas e parâmetros bioquímicos, foram coletados 4 mL de sangue, por acesso a veia jugular, sendo as amostras centrifugadas e no soro resultante avaliadas as concentrações de proteínas séricas totais e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), com a quantificação do MDA/mL de soro (DRAPER; HADLEY, 1990). As análises de glutathione peroxidase (GSH-PX), superóxido dismutase (SOD) e catalase sérica foram realizadas por meio de análise em espectrofotômetro a 450 nm de acordo com os kits da ab65354, ab83464 e ab102530 (Abcam ®, EUA), respectivamente.

Após 24 dias de lactação, os leitões foram contados, pesados e desmamados. No mesmo período, as porcas foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi medida novamente.

A perda de composição corporal das porcas entre o parto e o desmame foi estimada a partir do peso corporal (PC) e da espessura de toucinho (P2) em ambos os períodos, de acordo com as equações propostas por Dourmad et al. (1997):

$$\text{Proteína (kg)} = 2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) \text{ PC} - 0,333 (\pm 0,067) \text{ P2} \quad (1)$$

$$\text{Lipídio (kg)} = - 26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) \text{ PC} + 1,331 (\pm 0,140) \text{ P2} \quad (2)$$

$$\text{Energia (Mcal)} = - 257(\pm 38) + 3.267(\pm 0,268) \text{ PC} + 10,99(\pm 1,18) \text{ P2} \quad (3)$$

A estimativa da produção diária de leite (EPL) foi baseada no ganho de peso da leitegada (GPL), número de leitões e matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet e Etienne (1986):

$$\text{EPL (kg/dia)} = ([0,718 * \text{GPL} - 4,9] * \text{N}^\circ \text{ de leitões}) / 0,19 \quad (4)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, University edition), considerando cada porca e sua leitegada como unidade experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação do desempenho produtivo (Tabela 3), observou-se que não houve interação entre a suplementação mineral injetável e a ordem de parto sobre os parâmetros avaliados. Contudo, houve efeito significativo da suplementação mineral sobre o percentual de perdas de peso e de proteína corporal, e da ordem de parto, sobre o peso corporal ao parto e ao desmame, perda de peso e perda de peso percentual, espessura de toucinho, ao parto e ao desmame, perda de proteína corporal e produção diária de leite.

Quanto ao efeito da suplementação mineral injetável, constatou-se diferença significativa apenas entre as fêmeas suplementadas antes da IA e aos 90 dias de gestação em relação às fêmeas não suplementadas, obtendo-se menores percentuais de perda de peso e de proteína corporal para as fêmeas suplementadas

Para os efeitos da ordem de parto, observou-se que porcas acima de 5ª OP apresentaram maior peso ao parto e ao desmame em relação às demais partições, com menores perdas de peso e percentual em relação às fêmeas de 1ª OP. Fêmeas acima de 5ª OP também apresentaram maior espessura de toucinho ao parto e ao desmame e de proteína corporal em relação às fêmeas de 1ª OP, não diferindo das porcas de 2ª e 3 e 4ª OP. No entanto, as matrizes de 2ª e 3 e 4ª OP apresentaram maior produção de leite em relação às de 1ª e acima da 5ª OP.

Considerando a proporção entre a concentração dos minerais na composição do produto suplementar utilizado e a relação do P no metabolismo energético, sendo integrante de muitos intermediários (ATP, GTP, creatina-fosfato, glicídios fosfatados), e como componente de nucleoproteínas, fosfoproteínas, fosfolipídeos e ácidos nucléicos (GONZÁLEZ, 2017), as menores perdas em peso, peso percentual e de proteína corporal em matrizes que receberam

duas doses de suplementação mineral injetável podem ser consequência também da melhor utilização dos nutrientes para produção de ATP e manutenção celular que o P pode proporcionar, acumulando e transportando essa energia para os diversos processos metabólicos e formação de tecidos, associado também ao sistema de defesa antioxidante mais eficiente, potencialmente capaz de reduzir as perdas do catabolismo oxidativo na lactação.

Tabela 3 – Desempenho de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos.

| Parâmetros | Suplementação mineral (SM) | | | | Ordem de parto (OP) | | | | CV (%) | SM | <i>P-valor</i> | |
|------------------------------|----------------------------|---------|---------|--------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------|-------|----------------|-------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a -4 ^a | ≥5 ^a | | | OP | SM*OP |
| Peso corporal, kg | | | | | | | | | | | | |
| Ao parto | 266,68 | 262,75 | 262,15 | 263,17 | 225,10d | 255,13c | 279,13b | 294,77a | 6,54 | 0,555 | <0,001 | 0,635 |
| Ao desmame | 222,07 | 223,02 | 220,05 | 226,83 | 180,91d | 216,86c | 237,39b | 256,57a | 8,77 | 0,258 | <0,001 | 0,520 |
| Perda de peso, kg | 44,60a | 39,73ab | 42,11ab | 36,33b | 44,18a | 38,27b | 41,74ab | 38,19b | 27,55 | 0,002 | 0,013 | 0,342 |
| Perda de peso percentual, % | 17,02a | 15,47ab | 16,24ab | 13,97b | 19,67a | 14,99b | 14,97b | 12,99b | 26,78 | 0,001 | <0,001 | 0,148 |
| Espessura de toucinho, mm | | | | | | | | | | | | |
| Ao parto | 15,55 | 15,88 | 15,01 | 15,64 | 14,72b | 15,24ab | 15,76ab | 16,26a | 16,04 | 0,263 | 0,009 | 0,251 |
| Ao desmame | 13,05 | 13,08 | 13,09 | 13,04 | 12,15b | 12,83ab | 13,30ab | 13,92a | 19,81 | 0,998 | 0,003 | 0,229 |
| Perda de composição corporal | | | | | | | | | | | | |
| Proteína, kg | 7,20a | 6,37ab | 6,77ab | 5,84b | 7,17 ^a | 6,24ab | 6,87ab | 5,88b | 28,77 | 0,003 | 0,036 | 0,464 |
| Lipídeo, kg | 13,93 | 12,64 | 13,00 | 11,89 | 13,38 | 11,95 | 12,83 | 11,93 | 27,41 | 0,096 | 0,075 | 0,105 |
| Energia, kJ | 736 | 690 | 683 | 633 | 734 | 651 | 704 | 652 | 25,95 | 0,056 | 0,060 | 0,165 |
| Produção diária de leite, kg | 10,89 | 11,14 | 10,94 | 11,34 | 10,36b | 11,72a | 11,55a | 10,76b | 13,15 | 0,402 | <0,001 | 0,261 |

^{a, b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Considerando que as fêmeas suínas continuam a se desenvolver até o quarto ciclo, pode-se esperar aumento gradual na sua condição corporal conforme ficam mais velhas, porém, o sobrepeso sempre deve ser evitado (SILVA, 2014; YOUNG et al., 2005). Nesse sentido, o presente estudo indica que as fêmeas mais jovens e que pariram com menor ET, tenderam a mobilizar mais tecido muscular da sua composição corporal, como mecanismo compensatório para atender ao alto catabolismo da lactação e assim manter o desempenho da leitegada.

Nesse estudo, houve efeito significativo da OP na espessura de toucinho entre marrãs e matrizes acima de 5ª OP, diferentemente de Maes et al. (2004), em que as matrizes acima de 2ª OP apresentaram ET menor que marrãs e fêmeas de 2ª OP, além das matrizes de 1ª OP terem obtido menor variação de ET. Já Frigo et al. (2020) não evidenciaram influência da ordem de parto sobre a variação da espessura de toucinho ou condição corporal das porcas da maternidade ao desmame (28 dias). Essas variações podem ocorrer especialmente pelas diferenças no manejo nutricional de cada granja, ou mesmo considerando que grande parte das granjas acaba ofertando ração *ad libitum* durante a lactação; existe variação de consumo entre os animais, variação no número de leitões e variações genéticas entre os próprios indivíduos (KOKETSU et al., 1996; MAES, et al., 2004).

A maior produção de leite em porcas de 3ª e 4ª OP é um resultado esperado, podendo essa faixa de OP ser considerada como as fases de maior produção (MARTINS et al., 2007; EISSEN et al., 2000). A menor produção de leite de primíparas deve-se às diferenças fisiológicas relacionadas à capacidade de ingestão alimentar, com a partição de nutrientes entre o próprio desenvolvimento materno (EISSEN et al., 2000), assim como o aparelho mamário que ainda está em evolução (HURLEY, 2001).

Não houve efeito de interação entre suplementação mineral injetável e ordem de parto sobre desempenho dos leitões (Tabela 4). Embora não tenha sido observado efeito da suplementação mineral, observou-se efeito significativo da ordem de parto sobre o número de leitões ao nascer e ao desmame, peso da leitegada ao nascer e ao desmame, ganho de peso de leitegada, peso médio do leitão ao nascer e ao desmame e ganho de peso médio dos leitões. Porcas acima de 5ª OP apresentaram maior número de leitões nascidos em relação às de 1ª e 2ª OP. Entretanto, as fêmeas de 1ª OP apresentaram maior número de leitões ao desmame, em relação às de acima de 5ª OP, não diferindo das porcas de 2ª e 3ª e 4ª OP. Porcas de 3ª e 4ª OP apresentaram maior peso de leitegada e de leitão ao nascer em relação às de 1ª OP, não diferindo das de 2ª e acima de 5ª OP. Ao desmame, porcas de 2ª e 3ª e 4ª OP apresentaram

maior peso da leitegada e de leitão em relação às de 1^a e acima de 5^a OP, com resposta semelhante no ganho de peso da leitegada e do leitão.

Os resultados obtidos diferem de Reolon (2014) que avaliou leitoas que receberam suplementação mineral injetável composta, principalmente, de Zn e Se orgânicos, à puberdade, à primeira cobertura e aos 80 dias pós-cobertura, reaplicando na segunda gestação aos 21 e 80 dias pós-cobertura, observando maior número de leitões nascidos vivos (LNV) e totais (LNT) nos dois partos.

Tabela 4 – Desempenho de leitões provenientes de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos.

| Parâmetros | Suplementação mineral (SM) | | | | Ordem de parto (OP) | | | | CV (%) | SM | <i>P</i> -valor | |
|-------------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------|-------|-----------------|-------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a -4 ^a | ≥5 ^a | | | OP | SM*OP |
| Número de leitões, n | | | | | | | | | | | | |
| Ao nascer (total) | 16,17 | 16,26 | 16,15 | 16,63 | 15,44b | 15,78b | 16,46ab | 17,52a | 16,82 | 0,745 | 0,005 | 0,103 |
| Ao nascer (vivos) | 14,73 | 14,57 | 14,77 | 14,94 | 14,57 | 14,30 | 14,78 | 15,30 | 17,63 | 0,855 | 0,239 | 0,132 |
| 48h após o parto | 13,54 | 13,28 | 13,32 | 13,31 | 13,76 | 13,21 | 13,26 | 13,20 | 6,46 | 0,413 | 0,113 | 0,124 |
| Ao desmame | 12,20 | 12,14 | 12,22 | 12,21 | 12,58a | 12,35ab | 12,07ab | 11,78b | 10,60 | 0,983 | 0,008 | 0,404 |
| Peso da leitegada, kg | | | | | | | | | | | | |
| Ao nascer | 20,13 | 20,22 | 20,15 | 20,78 | 19,40b | 19,72ab | 21,28a | 20,78ab | 16,75 | 0,651 | 0,013 | 0,249 |
| 48h após o parto | 21,42 | 21,01 | 21,05 | 21,76 | 21,07 | 22,14 | 21,61 | 20,61 | 16,27 | 0,572 | 0,130 | 0,235 |
| Ao desmame | 81,23 | 83,11 | 81,55 | 84,86 | 79,35b | 86,01a | 87,08a | 78,78b | 14,98 | 0,447 | 0,002 | 0,140 |
| Ganho de peso da leitegada, kg | 2,73 | 2,82 | 2,79 | 2,85 | 2,62b | 3,01a | 2,91a | 2,67b | 16,45 | 0,478 | <0,001 | 0,140 |
| Peso médio dos leitões, kg | | | | | | | | | | | | |
| Ao nascer | 1,38 | 1,41 | 1,38 | 1,41 | 1,34b | 1,40ab | 1,45a | 1,37ab | 13,46 | 0,883 | 0,011 | 0,270 |
| 48h após o parto | 1,58 | 1,61 | 1,58 | 1,63 | 1,53 | 1,67 | 1,63 | 1,53 | 15,52 | 0,670 | 0,099 | 0,135 |
| Ao desmame | 6,71 | 6,89 | 6,69 | 6,93 | 6,35b | 6,96a | 7,22a | 6,69b | 12,95 | 0,239 | <0,001 | 0,856 |
| Ganho de peso médio dos leitões, kg | 0,231 | 0,239 | 0,235 | 0,241 | 0,216b | 0,250a | 0,248a | 0,234b | 12,83 | 0,252 | <0,001 | 0,148 |

^{a, b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Entretanto, corroboram com Cadavid (2014), que com a mesma suplementação de Reolon (2014) não se observaram efeitos significativos sobre número de leitões nascidos vivos, peso ao nascimento, peso ao desmame e intervalo desmama-cio; nesse caso, as marrãs receberam a suplementação aos 150 e 180 dias de idade e as porcas foram suplementadas entre os 80 e 90 dias de gestação repetindo a dose no décimo dia da lactação. Já Esquerre et al (2011), ao avaliarem a suplementação com Zn orgânico e inorgânico, observaram aumento de 3,32 leitões nascidos nas fêmeas suplementadas com 50% de Zn orgânico na dieta ao longo da vida reprodutiva, assim como Ronald et al. (2008), ao suplementar as matrizes suínas com Se injetável aos 30 e 60 dias de gestação também apontaram aumento significativo no tamanho da leitegada. Essas diferenças entre pesquisadores podem ser pela maior constância de aplicações nesses estudos, ofertando os minerais em diversos momentos críticos de desenvolvimento do aparelho reprodutor da matriz, desde a puberdade até as gestações subsequentes e até a própria evolução das linhagens genéticas nos últimos dez anos, onde as matrizes hiperprolíficas no sistema tecnificado atual já geram em média até três leitões nascidos vivos a mais que em 2008 (AGRINESS, 2020).

Borges et al. (2005), assim como Bianchi et al. (2010), apontaram que matrizes de 2ª a 5ª OP tendem à maior prolificidade quando comparadas às marrãs. O presente estudo corrobora com essa afirmação, porém, apesar de matrizes acima de 5ªOP terem parido maior quantidade de leitões totais, seu desempenho zootécnico pós-parto, após a uniformização das leitegadas, foi inferior ao de marrãs, considerando que as leitoas desmamaram significativamente mais leitões e com peso de desmame similar ao das mais velhas, demonstrando maior eficiência na manutenção da leitegada.

Em relação ao colostro e leite das porcas, não foi observada interação entre os fatores, bem como da SMI e OP sobre a composição de ambos (Tabela 5). Os estudos que avaliam os efeitos da SMI na composição do colostro e leite de fêmeas suínas são escassos, contudo, em trabalhos com espécie bovina (WARKEN, 2018; MACHADO et al., 2013; GANDA et al., 2016), constatou-se ausência de efeitos sobre a composição do leite, semelhantemente. Essa ausência de alterações na composição orgânica do colostro e do leite, através de suplementação mineral, parece ser um resultado comum entre os pesquisadores (PETERS; MAHAN, 2004; PETERS; MAHAN, 2008; PETERS et al., 2010; ANDRADE, 2021), indicando que os efeitos metabólicos da suplementação desses minerais pode não ser o suficiente para alterar a composição orgânica do leite.

Tabela 5 – Composição do colostro e leite de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos.

| Parâmetros | Suplementação mineral (SM) | | | | Ordem de parto (OP) | | | | CV (%) | SM | <i>P-valor</i> | |
|---------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------|-------|----------------|-------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a -4 ^a | ≥5 ^a | | | OP | SM*OP |
| Colostro | | | | | | | | | | | | |
| Sólidos totais, % | 26,42 | 26,64 | 27,44 | 26,54 | 27,12 | 25,70 | 27,25 | 26,97 | 18,61 | 0,936 | 0,805 | 0,325 |
| Sólidos não gordurosos, % | 19,55 | 19,71 | 20,27 | 19,65 | 20,04 | 19,06 | 20,13 | 19,95 | 18,07 | 0,939 | 0,822 | 0,213 |
| Gordura, % | 6,87 | 6,92 | 7,16 | 6,88 | 7,08 | 6,63 | 7,12 | 7,01 | 20,22 | 0,927 | 0,757 | 0,220 |
| Proteína, % | 14,61 | 14,48 | 14,18 | 14,43 | 15,54 | 13,72 | 14,46 | 13,99 | 15,53 | 0,958 | 0,117 | 0,065 |
| Lactose, % | 4,22 | 4,34 | 4,51 | 4,33 | 4,46 | 4,11 | 4,46 | 4,37 | 29,83 | 0,940 | 0,853 | 0,415 |
| Leite | | | | | | | | | | | | |
| Sólidos totais, % | 17,87 | 18,97 | 18,57 | 18,02 | 18,28 | 18,13 | 18,53 | 18,49 | 11,01 | 0,398 | 0,935 | 0,368 |
| Sólidos não gordurosos, % | 10,77 | 11,14 | 11,12 | 11,01 | 10,75 | 10,97 | 11,31 | 11,01 | 10,02 | 0,760 | 0,564 | 0,206 |
| Gordura, % | 7,09 | 7,82 | 7,45 | 7,01 | 7,52 | 7,15 | 7,22 | 7,48 | 18,76 | 0,339 | 0,834 | 0,834 |
| Proteína, % | 5,18 | 5,51 | 5,39 | 5,22 | 5,31 | 5,25 | 5,37 | 5,38 | 11,05 | 0,382 | 0,910 | 0,430 |
| Lactose, % | 4,89 | 5,17 | 5,09 | 4,91 | 4,99 | 4,94 | 5,05 | 5,09 | 11,29 | 0,419 | 0,869 | 0,475 |

^{a, b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Contudo, Peters e Mahan (2008), com fontes dietéticas de diferentes minerais orgânicos e inorgânicos, apresentaram variações na composição de gordura do colostro a partir da 4ª OP e seu declínio no leite a partir da 1ª OP, mas sem diferenças entre as fontes de minerais. Levando em consideração o efeito antioxidante, Oliveira (2020), suplementando a dieta de matrizes suínas com aditivos antioxidantes por 196 dias, somente observou efeito da suplementação na composição de sólidos totais do leite aos 21 dias de lactação. Assim, mais estudos se fazem necessários, especialmente em matrizes suínas de linhagens hiperprolíficas mais recentes, para entender quais fatores fisiológicos e ambientais, bem como a combinação de componentes nutricionais são capazes de afetar diretamente essa composição.

Resultados das pesquisas também são variáveis considerando a influência da ordem de parto sobre composição de colostro e leite. Klobasa et al., (1987) e Martins et al. (2007) não observaram alteração na composição orgânica do leite, enquanto Goransson (1990) apontou diferença no teor de matéria seca do leite que diminuiu com o aumento da ordem de parto, destacando a diferença no teor de gordura do leite entre porcas de 1ª e 6ª OP. Oliveira (2020) também observou efeito entre as ordens de parto, numa maior concentração de sólidos, gordura e proteína no colostro e leite de marrãs, especialmente quando comparadas às matrizes acima da 4ª OP. Já Andrade (2021) observou que as matrizes de $\geq 5^{\text{a}}$ OP apresentaram maior valor de lactose em relação às de 3ª e 4ª OP.

Na avaliação dos parâmetros sanguíneos (Tabela 6), observou-se interação significativa entre a suplementação e as OP, apenas para as concentrações de superóxido dismutase (SOD), catalase e TBARS. Houve efeito da suplementação mineral injetável, assim como da OP, sobre albumina, globulina sérica e glutathione peroxidase,

Para os efeitos da suplementação mineral, observou-se maior valor de albumina sérica para porcas suplementadas antes da IA, na pré-lactação ou em duas doses em relação às não suplementadas. Por sua vez, o nível de globulina sérica foi maior em fêmeas não suplementadas em relação às suplementadas antes da IA, somente na lactação ou em duas doses. Já a glutathione peroxidase (GSH-PX) teve níveis superiores nas fêmeas tratadas com duas doses, seguido pelas que receberam somente a suplementação mais próxima ao parto, enquanto as porcas suplementadas apenas antes da IA não diferiram das que não receberam suplementação.

Quanto aos efeitos da ordem de parto, constatou-se que porcas acima de 5ª OP apresentaram maior concentração de proteínas totais em relação às de 1ª OP, não diferindo das de 2ª e 3ª e 4ª OP. A GSH-PX também foi superior em porcas acima da 5ª OP, mas só quando comparadas às de 2ª OP.

Tabela 6 – Parâmetros sanguíneos de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos.

| Parâmetros | Suplementação mineral | | | | Ordem de parto (OP) | | | | CV (%) | SM | <i>P</i> -valor | |
|---------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|-------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a -4 ^a | ≥5 ^a | | | OP | SM*OP |
| Hemácias, x 10 ¹² /L | 5,63 | 5,70 | 5,68 | 5,50 | 5,68 | 5,80 | 5,55 | 5,47 | 7,06 | 0,506 | 0,112 | 0,126 |
| Hemoglobina, g/dL | 11,17 | 11,47 | 11,30 | 10,98 | 11,33 | 11,29 | 11,17 | 11,14 | 5,64 | 0,184 | 0,803 | 0,121 |
| Hematócrito, g/dL | 33,68 | 34,62 | 33,68 | 32,65 | 33,87 | 34,12 | 33,31 | 33,31 | 6,60 | 0,104 | 0,654 | 0,053 |
| VCM ¹ , fL | 59,48 | 60,53 | 59,31 | 60,51 | 59,77 | 58,71 | 60,58 | 60,77 | 5,25 | 0,568 | 0,251 | 0,340 |
| CHCM ² , g/dL | 33,07 | 33,03 | 33,43 | 33,05 | 33,36 | 33,03 | 33,01 | 33,17 | 2,01 | 0,289 | 0,420 | 0,583 |
| Leucócitos, g/dL | 15,69 | 15,11 | 14,98 | 15,98 | 15,83 | 15,42 | 14,96 | 15,56 | 19,35 | 0,750 | 0,870 | 0,612 |
| Neutrófilos, g/dL | 54,62 | 50,93 | 50,18 | 56,25 | 53,12 | 53,37 | 51,87 | 53,62 | 14,40 | 0,087 | 0,919 | 0,210 |
| Linfócitos, g/dL | 34,93 | 38,25 | 38,01 | 32,68 | 35,37 | 36,43 | 38,25 | 33,81 | 26,41 | 0,301 | 0,607 | 0,390 |
| Eosinófilos, g/dL | 4,06 | 4,37 | 4,00 | 4,18 | 4,31 | 3,87 | 3,25 | 5,18 | 60,79 | 0,976 | 0,187 | 0,635 |
| Monócitos, g/dL | 5,62 | 5,75 | 5,25 | 5,06 | 6,00 | 5,12 | 5,56 | 5,00 | 45,89 | 0,853 | 0,661 | 0,111 |
| Plaquetas, x 10 ⁹ /L | 375,06 | 381,75 | 357,06 | 377,62 | 383,56 | 365,31 | 395,12 | 347,50 | 20,27 | 0,801 | 0,311 | 0,447 |
| Proteínas totais, g/dL | 8,12 | 7,82 | 7,56 | 7,88 | 7,36b | 7,82ab | 7,92ab | 8,28a | 7,75 | 0,088 | 0,001 | 0,435 |
| Albumina, g/dL | 2,76b | 3,41a | 3,19a | 3,24a | 3,05 | 3,04 | 3,24 | 3,22 | 14,48 | 0,005 | 0,458 | 0,508 |
| Globulina, g/dL | 5,41a | 4,41b | 4,36b | 4,64b | 4,31 | 4,78 | 4,68 | 5,06 | 16,95 | 0,001 | 0,075 | 0,504 |
| Glutationa peroxidase, U/mL | 1175,31c | 1209,93c | 1333,65b | 1545,18a | 1299,31ab | 1274,85b | 1309,79ab | 1380,12a | 7,77 | <0,001 | 0,034 | 0,223 |
| Superóxido dismutase, U/mL | 104,41c | 105,15c | 111,62b | 115,17a | 109,14ab | 109,45ab | 109,72a | 108,02b | 1,48 | <0,001 | 0,024 | 0,033 |
| Catalase, U/mL | 5,30b | 5,41a | 5,43a | 5,35a | 5,38a | 5,38a | 5,41a | 5,32b | 0,86 | <0,001 | <0,001 | 0,046 |
| TBARS, mmol/mL | 6,19a | 6,37a | 5,33b | 5,28b | 5,91 | 5,65 | 5,82 | 5,79 | 5,31 | <0,001 | 0,130 | 0,003 |

¹Volume corpuscular médio; ²Concentração de hemoglobina corpuscular média; ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey² (P< 0,05).

Albumina é uma importante proteína sintetizada no fígado que mantém a osmolaridade e pH do plasma sanguíneo, além de servir como reserva proteica no sangue e transportador de diversas substâncias. Por sua vez, a albumina apresenta correlação negativa com a concentração de globulinas, indicadoras de processos inflamatórios, assim, o aumento nas globulinas, por estados infecciosos, de estresse ou deficiência hepática, inibe a produção de albumina no fígado como mecanismo compensatório para manter níveis constantes de proteína total (GONZÁLEZ; SILVA, 2017), demonstrando que os animais não suplementados poderiam estar mais susceptíveis a sofrer com os desafios que os grupos tratados. Já a diferença de proteínas totais entre porcas acima de 5ª OP e as marrãs, pode-se considerar esperada, já que animais mais velhos tendem a ter essa maior taxa de proteína sérica, uma variação que envolve maior eficiência metabólica na utilização de proteína (GONZÁLEZ; SILVA, 2017).

Considerando o perfil antioxidante, a glutathione peroxidase é uma selenoproteína que atua como antioxidante no plasma, desativando a formação de peróxidos durante a oxidação lipídica da membrana celular (CATANIA et al., 2009; CAMPOS, 2013). Andrade (2021), evidenciou aumento de GSH-PX e SOD sérica, em porcas com suplementação dietética de Se orgânico e vitamina E em relação às não suplementadas, evidenciando o favorecimento do status antioxidante, superior até mesmo ao de fêmeas alojadas em gaiolas com resfriamento adiabático. Entretanto, segundo o mesmo autor, o aumento dessas enzimas não foi suficiente para proporcionar menor perda de peso das matrizes durante a lactação, como ocorreu no presente estudo, evidenciando que a suplementação injetável de Se inorgânico associado a outros minerais pode agir de forma sinérgica na redução do catabolismo lactacional.

No desdobramento das interações (Tabela 7), observou-se que matrizes de 1ª, 2ª e acima de 5ª OP apresentaram resultados semelhantes de SOD e TBARS, onde SOD apresentou níveis séricos superiores nas fêmeas tratadas antes da IA e ao pré-parto, seguido pelas matrizes que receberam somente a suplementação mais próxima ao parto, enquanto as porcas aplicadas apenas ao desmame não diferiram das que não receberam suplementação. Já TBARS foi mais elevado nas matrizes que não receberam suplementação ou receberam suplementação mais distante do momento do parto, ao desmame. A catalase, por sua vez, foi mais alta em marrãs tratadas somente ao pré-parto, ao passo que na 2ª OP foi mais baixa em porcas não suplementadas. No grupo de 3ª e 4ª OP a SOD foi superior para os dois tratamentos com aplicação pré-parto, a catalase foi menor no grupo não suplementado e TBARS foi maior em matrizes suplementadas ao desmame, seguido das fêmeas que não foram suplementadas e apresentando os menores níveis nos dois tratamentos com aplicação pré-parto.

Tabela 7 – Desdobramento de interação entre suplementação mineral injetável em diferentes períodos e ordem de parto sobre superóxido dismutase, catalase e TBARS séricos de porcas.

| Parâmetros | Suplementação mineral | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------|----------|---------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos |
| Superóxido dismutase, U/ml | | | | |
| 1 ^a OP | 103,39c | 105,50c | 111,41Ab | 116,28a |
| 2 ^a OP | 104,60c | 104,90c | 112,24Ab | 116,07a |
| 3 ^a -4 ^a OP | 105,35b | 105,16b | 113,98Aa | 114,40a |
| ≥ 5 ^a OP | 104,37c | 105,02c | 108,83Bb | 113,91a |
| Catalase, U/mL | | | | |
| 1 ^a OP | 5,33b | 5,37Bb | 5,47Aa | 5,32b |
| 2 ^a OP | 5,32b | 5,43Aa | 5,41Aa | 5,37a |
| 3 ^a -4 ^a OP | 5,30b | 5,48Aa | 5,49Aa | 5,38a |
| ≥ 5 ^a OP | 5,28 | 5,34B | 5,33B | 5,35 |
| TBARS, mmol/mL | | | | |
| 1 ^a OP | 6,65Aa | 6,44a | 5,36b | 5,18b |
| 2 ^a OP | 5,71Ba | 6,47a | 5,21b | 5,29b |
| 3 ^a -4 ^a OP | 6,01Bb | 6,48a | 5,48c | 5,29c |
| ≥ 5 ^a OP | 6,48Aa | 6,08a | 5,26b | 5,35b |

^{a,b} Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Dentro dos grupos de suplementação, as porcas não suplementadas de 1^a OP e acima de 5^a OP apresentaram maiores quantidades de TBARS comparando com matrizes de 2^a a 4^a OP. Já no tratamento com aplicação somente ao pré-parto, SOD e catalase apresentaram níveis significativamente mais baixos nas acima de 5^a OP, em relação às demais partições. Enquanto na aplicação única antes da IA a catalase se mostrou superior nos grupos de 2^a a 4^a OP. Não houve diferença entre ordens de parto para fêmeas suplementadas cinco dias antes da IA e aos 90 dias de gestação.

Esses resultados demonstram que a SMI foi capaz de melhorar o status antioxidante das matrizes quando aplicada próximo ao parto, independente da ordem de parto, contudo um

resultado ainda melhor pode ser observado quando aplicado o protocolo de suplementação mais completo, suplementado antes da cobertura e novamente próximo ao parto.

Existem diversos trabalhos com vacas leiteiras que verificaram aumento na enzima superóxido dismutase quando Cu é suplementado (SORDILLO e AITKEN, 2009; MACHADO et al., 2014). Warken (2018) analisou o parâmetro sanguíneo das vacas, apontando maiores níveis séricos de SOD nos grupos tratados, mas sem diferenças em relação à catalase, enzima responsável pela conversão de peróxido de hidrogênio e superóxido para oxigênio e água como mecanismo antioxidante. Solda et al. (2017), com suplementação do mesmo produto em vacas aos 20 dias pré-parto e ao parto, também não tiveram diferenças quanto ao leucograma, mas houve aumento da catalase no segundo dia pós-parto nas fêmeas tratadas, aumento esse que foi acompanhado nos parâmetros sanguíneos das suas progênies, e com TBARS, marcadores da taxa de oxidação lipídica, também demonstrando efeito significativo, que apresentou maior concentração em fêmeas do grupo controle.

Para os parâmetros sanguíneos dos leitões, observou-se apenas efeito da suplementação mineral injetável nas porcas sobre GSH-PX e TBARS (Tabela 8). Os leitões de porcas suplementadas com duas doses apresentaram maior concentrações de GSH-PX em relação aos leitões das demais fêmeas. Por sua vez, os leitões de fêmeas suplementadas somente ao pré-parto apresentaram maiores valores de GSH-PX sérica em relação aos leitões das suplementadas apenas ao desmame, que também foi superior aos leitões das não suplementadas.

Menores valores de TBARS sérico foi observado nos leitões de porcas que receberam duas doses de mineral injetável em relação às não suplementadas e as que receberam uma dose ao desmame, não diferindo daquelas que receberam uma suplementação ao pré-parto.

Houve efeito da OP sobre a concentração de hematócrito, monócitos e proteínas totais, em que leitões de matrizes de 2^a OP apresentaram níveis superiores de hematócrito e monócitos em relação aos leitões das matrizes acima da 5^a OP, enquanto leitões de matrizes de 1^a OP apresentaram menor concentração de proteínas totais quando comparados aos de matrizes acima da 5^a OP.

Tabela 8 – Parâmetros sanguíneos de leitões provenientes de porcas de diferentes ordens de parto que receberam suplementação mineral injetável em diferentes períodos.

| Parâmetros | Suplementação mineral (SM) | | | | Ordem de parto (OP) | | | | CV (%) | <i>P-valor</i> | | |
|---------------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------|----------------|-------|-------|
| | ConCon | FosCon | ConFos | FosFos | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a -4 ^a | ≥5 ^a | | SM | OP | SM*OP |
| Hemácias, x 10 ¹² /L | 4,75 | 4,81 | 4,73 | 4,74 | 4,66 | 4,93 | 4,74 | 4,70 | 8,85 | 0,857 | 0,059 | 0,111 |
| Hemoglobina, g/dL | 10,06 | 10,35 | 10,41 | 10,05 | 10,00 | 10,59 | 10,33 | 9,95 | 10,18 | 0,372 | 0,053 | 0,124 |
| Hematócrito, g/dL | 31,12 | 32,31 | 31,71 | 31,59 | 31,21ab | 32,90a | 31,84ab | 30,78b | 8,98 | 0,422 | 0,021 | 0,099 |
| VCM ¹ , fL | 65,55 | 66,55 | 67,13 | 65,52 | 66,34 | 66,18 | 66,79 | 65,43 | 5,06 | 0,157 | 0,441 | 0,074 |
| CHCM ² , g/dL | 32,40 | 32,21 | 32,69 | 32,34 | 32,06 | 32,28 | 32,63 | 32,67 | 3,60 | 0,421 | 0,115 | 0,126 |
| Leucócitos, g/dL | 8,39 | 8,69 | 7,95 | 8,17 | 8,19 | 8,17 | 8,62 | 8,21 | 26,98 | 0,590 | 0,828 | 0,410 |
| Neutrófilos, g/dL | 44,84 | 42,93 | 46,12 | 50,15 | 45,56 | 45,15 | 46,62 | 46,71 | 26,23 | 0,111 | 0,940 | 0,348 |
| Linfócitos, g/dL | 47,75 | 48,75 | 46,50 | 42,81 | 45,37 | 46,53 | 46,98 | 46,93 | 23,71 | 0,155 | 0,931 | 0,392 |
| Eosinófilos, g/dL | 1,09 | 1,56 | 1,43 | 1,09 | 1,50 | 1,31 | 0,96 | 1,40 | 10,89 | 0,361 | 0,393 | 0,504 |
| Monócitos, g/dL | 5,84 | 5,25 | 6,65 | 6,90 | 6,53ab | 7,15a | 6,28ab | 4,68b | 58,83 | 0,245 | 0,049 | 0,131 |
| Plaquetas, x 10 ⁹ /L | 720,81 | 733,75 | 718,50 | 778,96 | 734,84 | 699,31 | 758,40 | 759,46 | 18,02 | 0,237 | 0,235 | 0,398 |
| Proteínas totais, g/dL | 5,68 | 5,89 | 5,69 | 5,76 | 5,53b | 5,78ab | 5,83ab | 5,88a | 9,12 | 0,353 | 0,045 | 0,426 |
| Glutaciona peroxidase, U/mL | 1151,81d | 1137,15c | 1320,30b | 1522,96a | 1266,78 | 1291,05 | 1284,63 | 1289,76 | 5,69 | <0,001 | 0,523 | 0,922 |
| Superóxido dismutase, U/mL | 106,86 | 105,71 | 107,26 | 106,76 | 106,75 | 107,14 | 106,54 | 106,18 | 1,68 | 0,196 | 0,197 | 0,134 |
| Catalase, U/mL | 3,34 | 3,34 | 3,42 | 3,37 | 3,39 | 3,38 | 3,36 | 3,32 | 4,99 | 0,216 | 0,331 | 0,825 |
| TBARS, mmol/mL | 6,03a | 5,76b | 5,59bc | 5,56c | 5,82 | 5,72 | 5,70 | 5,69 | 4,33 | <0,001 | 0,151 | 0,186 |

¹Volume corpuscular médio; ²Concentração de hemoglobina corpuscular média; ^{a, b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

O efeito na progênie pela suplementação nas fêmeas também foi observado por Andrade (2021), que avaliando as concentrações séricas de (GSH-PX) e SOD dos leitões de porcas tratadas com Se orgânico, constatou incremento em ambas, mas apenas para os leitões das fêmeas que foram tratadas simultaneamente com a vitamina E. As diferenças no perfil enzimático antioxidante dos leitões de matrizes suplementadas, contudo, não refletiu nos resultados de desempenho. As diferenças entre ordens de parto nas concentrações do hematócrito e monócitos, superiores em fêmeas de 2ª OP comparadas com as acima de 5ª OP, podem ter correlação com os resultados apresentados anteriormente de desempenho de peso dos leitões ao desmame, com leitegada e peso médio de leitão superiores na 2ª OP comparando com as acima da 5ª OP. Já as proteínas totais das progênies parecem ter seguido o padrão das respectivas mães.

Assim, as ações dos minerais P, Cu, K, Mg e Se combinados sugerem a capacidade de melhorar o sistema de defesa antioxidante e potencializar o metabolismo energético, reduzindo os processos de oxidação que levam à produção de radicais livres, minimizando o estresse para o animal e os efeitos do alto catabolismo, corroborando com a menor perda de peso, peso percentual e composição proteica das porcas durante o período de lactação, principalmente quando a suplementação ocorrer antes da cobertura e ao final da gestação, assim como melhor perfil antioxidante também em suas leitegadas. Contudo, mais estudos são necessários quanto à suplementação mineral, especialmente quanto à combinação dos minerais suplementados e à constância de aplicações visando resultados de desempenho subsequentes.

5 CONCLUSÃO

A suplementação mineral injetável (P, Cu, K, Mg e Se), em matrizes suínas antes da inseminação artificial e aos 90 dias de gestação, tem efeito benéfico, levando a menores perdas corporais maternas durante a lactação e melhorando o perfil sérico antioxidante, independentemente da ordem de parto, assim como o perfil sérico antioxidante de suas leitegadas.

REFERÊNCIAS

- ABUELO, A.; HERNANDEZ, J.; BENEDITO, J. L.; CASTILLO, C. The importance of the oxidative status of dairy cattle in the periparturient period: revisiting antioxidant supplementation. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, n. 6, p. 1003-1016. 2014.
- AGRINESS. **Relatório anual do desempenho da produção de suínos**. [s.l.], Agriness. Ed.13, 2020.
- ANCHORDOQUI, J.M.; ANCHORDOQUI, J.P.; SIRINI, M.A.; PICCO, S.J.; PERAL GARCÍA, P.; FURNUS, C.C. The importance of having zinc during in vitro maturation of cattle cumulus-oocyte complex: Role of cumulus cells. **Reproduction in Domestic Animals**, v.49, n.5, p.865-874, 2014
- ANDRADE, E.R.; MELO-STERZA, F.A.; SENEDA, M.M.; ALFIERI, A.A. Consequências da produção das espécies reativas de oxigênio na reprodução e principais mecanismos antioxidantes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.34, n.2, p.79-85, 2010.
- ANDRADE, T.S. **Suplementação de betaína, levedura ativa, selênio orgânico e vitamina e para fêmeas suínas**. 2021. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2021.
- APPASAMY M, JAUNIAUX E, SERHAL P, AL-QAHTANI A, GROOME NP, MUTTUKRISHNA S. Evaluation of the relationship between follicular fluid oxidative stress, ovarian hormones, and response to gonadotropin stimulation. **Fertility and Sterility**, v.89, p.912-921, 2007.
- BIANCHI, I.; JUNIOR, T. L.; DESCHAMPS, J. C.; SCHNEIDER, A.; RABASSA, V. R.; CORRÊA, M. N. Indicadores de desempenho relacionado ao parto de fêmeas suínas de primeiro e segundo partos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1359-1362, 2010.
- BETARELLI, R. P. **Estudo da vascularização uterina em principiaras suínas e sua relação com o desenvolvimento fetal e placentário**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Curso de Veterinária, Programa de Pós Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BORGES, V. F.; BERNARDI, M. L.; BORTOLOZZO, F. P.; WENTZ, I. Risk factors for stillbirth and foetal mummification in four Brazilian swine herds. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 70, p. 165-176, 2005.
- BUSHER, JANICE T. Serum albumin and globulin. **Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations**, v. 3, p. 497-499, 1990.
- CADAVID, V.G. **Efeito da suplementação intramuscular de vitaminas e minerais sobre a criopreservação do sêmen de cachorros**. 2010. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 2010.

- CADAVID, V.G. **Parâmetros espermáticos e proteínas do plasma seminal de cachaços e parâmetros reprodutivos de marrãs e porcas suplementadas com minerais e vitaminas.** 2014. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2014.
- CAMPOS, P. F. **Suplementação de vitamina E e selênio orgânico em Dietas com ractopamina para suínos em terminação.** 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- CANIATTO, A.R.M. **Minerais orgânicos e fitase como redutores do poder poluente de dejetos suínos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.
- CARRAZZA, L.G. **Hormônios tireoidianos, TSH, desempenho e qualidade de carcaça e carne em suínos imunocastrados alojados em diferentes sistemas de criação.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2012.
- CARVALHO, F. A. N.; BARBOSA, F. A.; McDOWELL, L. R. **Nutrição de bovinos a pasto.** Belo Horizonte: Papelform, 438p, 2003.
- CATANIA, A.S.; BARROS, C.R.; FERREIRA, S.R.G. Vitaminas e minerais com propriedades antioxidantes e risco cardiometabólico: controvérsias e perspectivas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 550-559, 2009.
- CHOICE GENETICS. **Manual Naima. Pontos-chave para o manejo da matriz Naima.** Espírito Santo do Pinhal:SP, Choice Genetics. Ed.2018, 2018.
- DOURMAD, J. Y.; ETIENNE, M.; NOBLET, J.; CAUSEUR, D. Prediction de la composition chimique des truies reproductrices a partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. **Journées Recherche Porcine**, v. 29, p. 255-262, 1997.
- EISSEN, J.J.; KANIS, E.; KEMP, B. Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. **Livestock Production Science**, v. 64, n. 2-3, p.147-165, 2000.
- ENSMINGER, M.E.; OLDFIELD, J.E.; HEINEMANN, W.W. Composition of Feeds. In: ENSMINGER, M.E. et al. (Eds.). **Feeds & Nutrition.** Clovis: Ensminger Publishing, p. 1265-1511, 1990
- ESPINDOLA, G. B. **Nutrição de animais monogástricos de produção.** Fortaleza: Produção independente, Ed.1, p. 204, 2016.
- ESPOSITO, G.; IRONS, P. C.; WEBB, E. C.; CHAPWANYA, A. Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. **Animal Reproduction Science**, v. 144, n. 3-4, p. 60-71, 2014.
- ESQUERRA, R.; ZHAO J.; HARRELL, R.; GREINER, L. O desafio da nutrição micromineral e seu impacto na produtividade da matriz e da progênie. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 4., 2011, **Anais [...].** Chapecó SC. p. 68-85, 2011.

FAZZIO, L.E.; ROSA, D.E.; PICCO, S.J.et al. Assessment of Cu-Zn EDTA Parenteral Toxicity in Calves. **Biological Trace Element Research**, v.179, n. 2, p. 213-217, 2017.

FONTES, D. O.; SOUZA, L. P. O.; FERNANDES, I. S.; Novos enfoques na nutrição de reprodutoras no terço final de gestação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 15., 2011, **Anais [...]**. Fortaleza: ABRAVES, 2011.

FRIGO, M. E.; RAUBER, H. A.; BALZAN, J.; CHRESTANI, R.; BASSEGGIO, L. C.; COREZZOLLA, J. L.; RAUBER, L. P. Variação da massa corpórea de fêmeas suínas durante lactação de 28 dias. **Science and Animal Helth**, v. 8 n. 2, p. 114-122, 2020.

GALATI, L. R. **Alimentos e alimentação animal**. Guarujá, SP. Científica digital, 2021.

GANDA, E. K.; BISINOTTO, R. S.; VASQUEZ, A. K.; TEIXEIRA, A. G. V.; MACHADO, V. S.; FODITSCH, C.; DIAS, J. M. Effects of injectable trace mineral supplementation in lactating dairy cows with elevated somatic cell counts. **Journal Of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7319-7329, 2016.

GIULIODORI, M.J.; RAMÍREZ, R.E.; AYALA, M. Acute copper intoxication after a Cu-Ca EDTA injection in rats. **Toxicology**, v.124, n. 3, p.173-177, 1997.

GONZALES, F. H. D.; SILVA, S. C. S. **Introdução à bioquímica veterinária**. 3. ed. Porto Alegre, RS. UFRGS. 2017.

GONZALES, F. H. D.; SILVA, S. C. S. **Minerais e vitaminas no metabolismo animal**. Laboratório de análises veterinárias. 2019. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

GORANSSON, L. The effect on late pregnancy feed allowance on the composition of the sow's colostrum and milk. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 31, p. 109-115, 1990.

JONDREVILLE, C. REVY, P.S.; DOURMAD, J.Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **Livestock Production Science**, v. 84, p.147–156, 2003.

HURLEY, W.L. Mammary gland growth in the lactating sow. **Livestock Production Science**, v. 70, n. 1-2, p. 149-157, 2001.

KIEFER, C. Minerais quelatados na nutrição de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.2, n.3, p.206-220, 2005.

KLOBASA, F.; WERHAHN, E.; BUTLER, J.E. Composition of sow milk during lactation. **Journal of Animal Science**, v. 64, p.1458-1466, 1987.

KOKETSU, Y., DIAL, G., PETTIGREW, J.; MARSH, W.; KING, V. Characterization of feed intake patterns during lactation in commercial swine herds. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 1202– 1210, 1996.

KRISHNAMOORTHY, L. et al. Copper regulates cyclic-AMP-dependent lipolysis. **Nature Chemical Biology**. v. 12, p. 586- 592, 2016.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P.A. Redução da carga de poluente a questão dos nutrientes. In: Seganfredo, A. M. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: EMBRAPA, p.105-118, 2007.

LEESON, S. Trace minerals in poultry nutrition-2. Copper and zinc – the next pollution frontier.

World Poultry, v. 3, p. 14-16, 2008.

LIM, K. S.; PAIK, I. K. Effects of dietary supplementation of copper chelates in the form of methionine, chitosan and yeast in laying hens. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v. 19, p. 1174-1178, 2006.

LÜDKE, M.C.M.M.; LÓPEZ, J.; LUDKE, J.V. Fitase em dietas para suínos em crescimento: impacto ambiental. **Ciência Rural**, v. 32, n.1, 2002.

MACHADO, V. S.; BICALHO, M. L. S.; PEREIRA, R. V.; CAIXETA, L. S.; KNAUER, W. A.; OIKONOMOU, G.; BICALHO, R. C. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. **The Veterinary Journal**, v. 197, n. 2, p. 451-456, 2013.

MACHADO V S, OIKONOMOU G, LIMA S F, BICALHO M L S, KACAR C, FODITSCH C, FELIPPE M J, GILBERT R O AND BICALHO R C. The effect of injectable trace minerals (selenium, copper, zinc, and manganese) on peripheral blood leukocyte activity and serum superoxide dismutase activity of lactating Holstein cows. **Veterinary Journal**, v. 200, p. 299-304, 2014

MAES, D.G.D.; JANSSENS, G.P.J.; DELPUTTE, P.; LAMMERTYN, A.; DE KRUIF, A. Back fat measurements in sows from three commercial pig herds: relationship with reproductive efficiency and correlation with visual body condition scores. **Livestock Production Science**, v. 91, p. 57-67, 2004.

MAHAN, D. C., NEWTON, E. A. Effect of initial breeding weight on macro- and micromineral composition over a threeparity period using a high-producing sow genotype. **Journal of Animal Science**. v. 73, p. 151–158. 1995.

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

MAHAN, D. C.; WATTS, M. R.; ST-PIERRE, N. Macro- and micromineral composition of fetal pigs and their accretion rates during fetal development. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 2823-2832, 2009.

MA, L.; HE, J.; LU, X.; QIU, J.; HOU C.; LIU, B.; LIN, G.; YU D. Effects of low-dose organic trace minerals on performance, mineral status, and fecal mineral excretion of sows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. v.33, n.1, p. 132-138, 2020.

- MARTINS, T. D. D.; COSTA, A. N.; SILVA, J. H. V.; BRASIL, L.H. A.; VALENÇA, R. M. B.; SOUZA, N.M. Produção e composição do leite de porcas híbridas mantidas em ambiente quente. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1079-1083, 2007.
- MICHELON, T.; SILVEIRA, J. G.; GRAUDENZ, M.; NEUMANN, J. Imunologia da gestação. **Revista AMRIGS**, v.50, p.145-151, 2006.
- MILES, R.D.; HENRY, P.R. Relative trace mineral bioavailability. **Ciência Animal Brasileira**, v.1, n.2, p.73-93, 2000.
- NEVES, C.; MEDINA, J.L.; DELGADO, J.L.; Alterações Endócrinas e Imuno-modulação na Gravidez. **Arquivos de Medicina**, v. 21, n.5/6, p.175, 2007.
- NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J. Livestock manure management and treatment: implications for heavy metal inputs to agricultural soils. **Trace elements in animal production system**. p. 55-61, 2008
- NOBLET, J.; ETIENNE, M. Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 6, p. 1888-1896, 1986.
- NOVAK, J. M.; SZOGI, A.A.; WATTS, D.W. Copper and zinc accumulation in sandy soils and constructed wetlands receiving pig manure effluent applications. **Trace elements in animal production system**. p.45-54, 2008.
- OLIVEIRA, A. M. A. **Suplementação de betacaroteno para fêmeas suínas: parâmetros reprodutivos e desempenho produtivo dos leitões na maternidade**. 2020. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2020.
- OMUR, A.; KIRBAS, A.; KANDEMIR, F.; DORMAN, E.; UCAR, O. Effects of antioxidant vitamins (A, D, E) and trace elements (Cu, Mn, Se, Zn) on some metabolic and reproductive profiles in dairy cows during transition period. **Polish Journal of Veterinary Sciences**, v. 19, n. 4, p. 697-706. 2016.
- OVERTON, T. R.; YASUI, T. Practical applications of trace minerals for dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 416-426, 2014.
- PETERS, J. C.; MAHAN, D. C. Effects of dietary organic and inorganic trace mineral levels on sow reproductive performances and daily mineral intakes over six parities. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 2247-2260, 2008.
- PETERS, J. C.; MAHAN, D. C.; WISEMAN, T. G.; FASTINGER, N. D. Effect of dietary organic and inorganic micromineral source and level on sow body, liver, colostrum, mature milk, and progeny mineral compositions over six parities. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 2, p. 626–637, 2010.
- PICCO, S.J. et al. Genotoxic and Clastogenic effect of Parenteral Cu-Ca EDTA supplementation in Cattle. **Journal of Basic and Applied Genetics**, v. 17, n.2, p.33-39, 2006.

PICCO, S.J.; ROSA, D.E.; ANCHORDOQUI, J.P.; ANCHORDOQUI, J.M.; SEOANEA, A.; MATTIOLI, G.A.; FURNUS, C.C. Effects of copper sulphate concentrations during in vitro maturation of bovine oocytes. **Theriogenology**, v. 77, n. 2, p. 373-381, 2012.

REOLON, D. **Efeito da suplementação com minerais injetáveis sobre parâmetros reprodutivos de fêmeas suínas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Paraná. Palotina, 2014.

REOLON, D.; SLONGO, L.; SILVA, G.A.; DONIN, D.G.; ALBERTON, G.C. Efeito da suplementação de minerais injetáveis sobre parâmetros reprodutivos de fêmeas suínas. In: PORKEXP0, 8., 2016, **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: PORKEXP0, 2016.

RODRIGUES, P. B.; DE BRITO, J.A.G.; DA SILVA, E.L. et al., Manejo da dieta para reduzir o impacto ambiental da excreção de nutrientes na avicultura. In: SEMINÁRIO DE AVES E SUÍNOS, 7., 2007, **Anais [...]**. AVESUI. Belo Horizonte, MG, p. 53-72, 2007.

RONALD, B.S.M.; SIVAKUMAR, T.; SENTHILKUMAR, S. Effect of supplementation of selenium and vitamin e on the reproductive performance of large white Yorkshire pigs. **Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 6, p.224-226, 2008.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, ML.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S. L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Universidade Federal de Viçosa, Ed.4, p.488, 2017.

RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE USO DA LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 1., 2009, **Anais [...]**. Campinas:CBNA, p. 21-36, 2009.

SILVA, B. A. N.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; FERNANDES, H. C.; LIMA, A. L.; RENAUDEAU, D.; NOBLET, J. Effect of floor cooling and dietary amino acids content on performance and behaviour of lactating primiparous sows during summer. **Livestock Science**, v. 120, n. 1, p. 25-34, 2009.

SILVA, C. A. Nutrição e catabolismo lactacional. In: FERREIRA, A. H.; CARRARO, B.; DALLANORA, D.; et al. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Qualitá, 2014, p. 523-535, 2014.

SOLDA, N.M.; GLOMBOWSKY, P.; CAMPIGOTTO, G.; BOTTARI, N. B.; SCHETINGER, M.R.C.; MORSCH, V.M.; FAVERO, J.F.; BALDISSERA, M.D.; SCHOGOR, A.L.B.; BARRETA, D.; MACHADO, G.; SILVA, A.S. Injectable mineral supplementation to transition period dairy cows and its effects on animal health. **Comparative Clinical Pathology**, v. 26, p. 335-342, 2017.

SORDILLO, L. M; AITKEN, S. L. Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 128, n. 1, p. 104-109. 2009.

SUTTLE, N.F. Selenium. In: Suttle NF, ed. **Mineral Nutrition of Livestock**. CABI, ed.4, p.377-425, 2010.

TOPIGS NORSVIN. **Manual de fêmeas**. [s.l], Topigs Norsvin. Ed.1, 2017.

VIRBAC. **Fosfosal: manual técnico**. [s.l], Virbac. Ed.3, 2022.

WANG, X.; FALCONE, T.; ATTARAN, M.; GOLDBERG, J.M.; AGARWAL, A.; SHARMA, R.K. Vitamin C and Vitamin E supplementation reduce oxidative stress-induced embryo toxicity and improve the blastocyst development rate. **Fertility and Sterility**, v.78, p.1272-1277, 2002.

WARKEN, A. C. **Efeito da suplementação mineral injetável no sistema imune de vacas leiteiras no período pós-parto**. 2018. Dissertação. (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Chapecó, 2018.

WINTERGERST, E.S.; MAGGINI, S.; HORNIG, D.H. Contribution of selected vitamins and trace elements to immune function. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 51, p. 301-323, 2007.

YOUNG, M. G.; TOKACH, M. D.; AHERNE, F. X.; et al. Effect of sow parity and weight at service on target maternal weight and energy for gain in gestation. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 1, p. 255-261, 2005.

ZHAO, X. J.; LI, Z. P.; WANG, J. H.; XING, X. M.; WANG, Z. Y.; WANG, L.; WANG, Z. H. Effects of chelated Zn/Cu/Mn on redox status, immune responses and hoof health in lactating Holstein cows. **Journal of veterinary science**, v. 16, n. 4, p. 439-446, 2015.

ZHOU, W.; KORNEGAY, E. T.; VAN LAAR, H.; SWINKELS, J. W.; WONG, E. A.; LINDEMANN, M. D. The role of feed consumption and feed efficiency in copper-stimulated growth. **Journal of Animal Science**, v.72, p. 2385-2394, 1994.