

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**DEPOSIÇÃO DE CÁLCIO E FÓSFORO NO ÚTERO DE OVELHAS SANTA INÊS**

**Luciana Freitas Guedes**

**Belo Horizonte – MG**

**Março/2016**

**LUCIANA FREITAS GUEDES**

**DEPOSIÇÃO DE CÁLCIO E FÓSFORO NO ÚTERO DE OVELHAS SANTA INÊS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

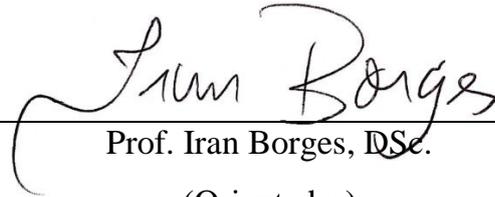
Área de concentração: Nutrição Animal

Orientador: Iran Borges

**Belo Horizonte**

Tese defendida no dia 11 de março de 2016 e aprovada pela comissão examinadora composta

por:



---

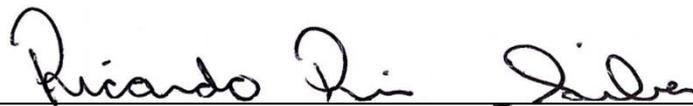
Prof. Iran Borges, DSc.

(Orientador)



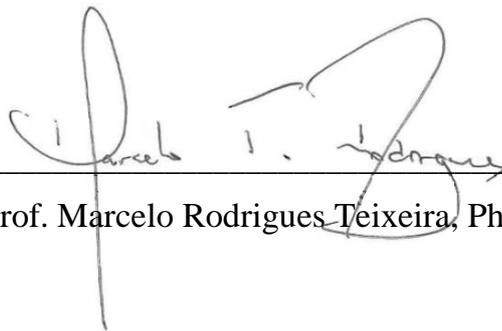
---

Prof. Décio Souza Graça, PhD.



---

Prof. Ricardo Reis e Silva, DSc.



---

Prof. Marcelo Rodrigues Teixeira, PhD.



---

Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira, PhD.

“Se você não está disposto a arriscar, esteja disposto a ter uma vida comum”

*Jim Rohn*

## **DEDICO**

Aos meus avós e meu padrinho Tio Antônio “*in memoriam*”...

À comunidade científica...

Aos contribuintes desse estudo...

Às ovelhas e seus filhotes por cederem suas vidas...

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que se faz presente em mim dando-me saúde e sabedoria para realização deste trabalho e seguir adiante.

Aos meus pais fonte de luz em minha vida e à minha irmã pela presença inigualável.

Ao Prof. Iran Borges desde a recepção calorosa na UFMG seguida pela exemplar orientação no mestrado e doutorado. Seus ensinamentos e a tamanha atenção, amizade e carinho que o fez considerá-lo um Pai além de mestre. Obrigada pela confiança, pelo crescimento humano, profissional e pela oportunidade de fazer parte dessa equipe tão dedicada e responsável com a ciência. E não dá para falar do Iran sem se lembrar da Neuzinha, minha companheira azul, nunca irei esquecer nossos momentos de felicidade e levantamento de taças na nossa casa “Mineirão – Toca Azul 3”: É TETRAA! Nossas conversas, conselhos via whatsapp, os cafés e almoços no Ovil me fez sentir em casa, muito obrigada pelo acolhimento. Você é uma mãe e tanto, parabéns pela família!

Aos meus coorientadores Ana Luiza Costa Cruz Borges e Idalmo Garcia Pereira que juntamente aos professores Décio Souza Graça e Eloísa de Oliveira Simões Saliba me auxiliaram de forma singular nessa caminhada na pós-graduação sempre com total disponibilidade enriquecendo com conselhos, ensinamentos transformando-me pessoal e profissionalmente. Minha formação é graças a vocês, serei eternamente grata.

Ao Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira pela imensurável paciência, dedicação e ensinamentos nesse mundo louco e prazeroso da modelagem matemática, sem ele essa tese não sairia. Os mesmos votos são válidos ao Dr. Matheus Lima Corrêa Abreu, sem dúvida foi o início de uma grande amizade.

Ao Prof. Marcelo Teixeira Rodrigues pela participação na banca examinadora, pelas oportunas sugestões e pelo companheirismo sempre demonstrado ao grupo Nepper.

À UFMG pela oportunidade de realização do doutorado. Ao CNPq, por fomentar e financiar este trabalho, e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos. Aos funcionários do laboratório de Nutrição Animal, Toninho (companheiro azul), Kelly e Fabiana, pelos auxílios, ensinamentos e pelas horas de descontração. Às secretárias da pós-graduação Heloisa e Cibele por me aturarem.

Aos colegas da pós-graduação pela solícita presença e companheirismo: Veri, Hemilly, Fernando, Dodô, Joana, Gabi, Zé, Luiz, Cimara, Marquinhos, Tassinha e Luigi foi muito bom trabalhar com vocês. Ao NEPPER, pelos ensinamentos de dedicação e trabalho em equipe. Às

estagiárias que viraram verdadeiras amigas, Aninha, Isabela, Luiza e Dalvana pela dedicação, companheirismo e paciência com aquela chama! Trabalhar com vocês foi sensacional.

Ao Pedro, Léo e Carol que demonstraram o sentido da verdadeira amizade e que é possível sempre dentro dessa intensa jornada. Levarei vocês comigo para vida toda, muito obrigada de verdade!

Aos meus familiares e minha querida sobrinha afilhada Letícia, morar com você tornou minha vida mais leve e feliz, obrigada minha pequena! Às minhas brodinhas (Raquel, Dani, Marcela e Fernanda) que compartilharam comigo a concretização deste sonho, acalentando meus anseios e dúvidas, e fomentando coragem e dedicação. Obrigado por estarem sempre ao meu lado!

Ao New, sem sua presença, apoio, carinho e amor incondicional, eu não teria conseguido. Obrigada por sempre me lembrar de exercitar e trazer comida de três em três horas, seu cuidado não tem preço, prometo exercitar mais (risos) e te fazer feliz sempre.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.1 Hipótese.....	14
1.2 Objetivo geral .....	14
1.3 Objetivos específicos .....	14
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 Os minerais .....	15
2.2 Composição Corporal .....	18
2.3 Exigência de cálcio e fósforo na gestação .....	18
2.3.1 Agricultural Research Council - ARC (1980) .....	18
2.3.2 Agricultural and Food Research Council - AFRC (1991).....	20
2.3.3 National Research Council – NRC (2007) .....	20
2.3.4 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO (2007).....	22
2.4 A modelagem como ferramenta na Zootecnia.....	23
2.5 Referências Bibliográficas .....	24
CAPÍTULO 3. CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CÁLCIO E FÓSFORO DO ÚTERO GRAVÍDICO E SEUS COMPONENTES AO LONGO DA GESTAÇÃO EM FÊMEAS OVINAS SANTA INÊS .....	27
3.1 Resumo .....	27
3.2 Introdução.....	27
3.3 Material e Métodos .....	28
3.3.1 Local, animais e manejo experimental .....	28
3.3.2 Análises químicas.....	31
3.3.3 Modelos de crescimento e covariância .....	31
3.3.4 Procedimento estatístico.....	32
3.3.5 Composição do útero gravídico .....	34
3.4 Resultados.....	36
3.4.1 A seleção do melhor modelo .....	36
3.4.2 Crescimento e composição dos componentes do útero gravídico .....	40
3.4.3 Deposição de minerais no útero gravídico ao longo da gestação .....	42
3.4.4 Retenção e exigência de minerais na gestação .....	43
3.5 Discussão .....	44
3.5.1 Seleção de modelo não-linear.....	44
3.5.2. Os minerais no útero gravídico.....	45
3.5.3 Exigência de minerais na gestação .....	46
3.6 Conclusões.....	47
3.7 Referências Bibliográficas .....	47
CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES FUTURAS .....	49

## LISTA DE TABELAS E FIGURA

Tabela 1. Parâmetros para estimar os conteúdos de cálcio e fósforo do feto e do útero gravídico de ovelhas .....	19
Tabela 2. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de ovelhas vazias até os 120 dias de gestação .....	29
Tabela 3. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de borregas vazias até os 120 dias de gestação .....	29
Tabela 4. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais dos 120 até 150 dias de gestação e a dieta única ao longo de toda gestação das ovelhas com gestação tripla .....	30
Tabela 5. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de borregas dos 120 até 150 dias de gestação .....	30
Tabela 6. Melhores ajustes para modelos testados* para o crescimento fetal, corporal e composição de cálcio (Ca) e fósforo (P) no útero gravídico de borregas e ovelhas e seus constituintes .....	37
Tabela 7. Estimativas dos parâmetros do modelo e da função de variância com seus respectivos erros padrão ( $EP_{\theta}$ ) da combinação mais provável para cada variável .....	39
Tabela 8. Estimativas e intervalo de confiança (95%) de massa e da composição de cálcio e fósforo dos componentes no útero gravídico de borregas e ovelhas ao longo da gestação.....	41
Tabela 9. Estimativas de retenção e da exigência diária de cálcio (Ca) e fósforo (P) no útero gravídico ao longo da gestação de borregas e ovelhas.....	44
Figura 1. Observado ( $\Delta$ ), predito (linha sólida), 99% de intervalo de confiança (linha tracejada).....	43

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AFRC = Agricultural and Food Research Council

AICc = Critério de informação do Akaike corrigido

ARC = Agricultural Research Council

Ca = cálcio

CSIRO = Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

FDN = fibra em detergente neutro

MS = matéria seca

MC = massa corporal

MCV = massa de corpo vazio

MFeto = massa do feto

MGrav = massa de útero gravídico

MLiq = massa de líquido fetal

MUte = massa de útero + placenta

NDT = nutrientes digestíveis totais

NRC = National Research Council

P = fósforo

PB = proteína bruta

ER = razão de evidência

w = probabilidade de verossimilhança

## RESUMO

A gestação é a fase mais crítica para fêmea ruminante uma vez que garantir o pleno desenvolvimento fetal depende de diversos fatores (alimentação, tipo de gestação, ordem de parto, escore de condição corporal, entre outros). Objetivou-se avaliar a restrição nutricional, número de fetos e ordem de parto sobre a composição de minerais em fêmeas da raça Santa Inês ao longo da gestação. Para isso utilizou-se 83 ovelhas na terceira ordem de parto e 38 primíparas alocadas em regime *ad libitum* e restrito em 15% de NDT e PB conforme exigências do NRC (edição 1985 para ovelhas e 2007 para borregas). Para a avaliação de retenção de minerais foi determinado os teores de Ca e P no útero gravídico a partir da técnica de abate comparativo, sendo os animais abatidos em diferentes idades gestacionais (ovelhas: 0, 90, 110, 130 e 140 dias; borregas: 0, 100, 130 e 140 dias de gestação). Todos os componentes foram pesados, amostrados e quantificados o teor de minerais a fim de se chegar à composição e conseqüentemente à exigência de minerais para gestação. O modelo de crescimento exponencial e de Gompertz foram ajustados para os perfis de crescimento de massa e acúmulo de minerais com diferentes funções de variância e todos foram avaliados com base em critérios de informação e verossimilhança. O efeito de regime alimentar e de número de fetos foram contabilizados em todos os modelos, mas os modelos resultantes não foram mais propensos do que os modelos com efeito de ordem de parto. O modelo exponencial foi o melhor ajuste para as variáveis estudadas apresentando uma variação exponencial ao longo da gestação. A exigência de minerais é diferente entre categoria e variáveis ao longo da gestação. As exigências de cálcio e fósforo para ovelhas e borregas gestantes mostraram-se acima do recomendado pelo NRC (2007).

**Palavras-Chave:** gestação, minerais, modelos, ovinos

## ABSTRACT

Pregnancy is the most critical phase for female ruminant since ensure full fetal development depends on several factors (feeding, type of pregnancy, parity order, body condition score, among others). This study aimed to evaluate the nutritional restriction, number of fetuses and parity order on the mineral composition in Santa Inês ewes during pregnancy. For this it was used 83 ewe in the third parity order and 38 primiparas divided into *ad libitum* and restricted regimen in 15% NDF and CP as NRC requirements (edition 1985 for ewes and 2007 for ewes lambs). The levels of Ca and P in the gravid uterus were evaluated with the comparative slaughter technique to determined mineral retention. For this evaluation, the animals were slaughtered at different gestational ages (ewe: 0, 90, 110, 130 and 140 days; ewe lambs: 0, 100, 130 and 140 days of gestation). All components were weighed, sampled and had their mineral content quantified in order to get the composition and consequently, the minerals demand for pregnancy. The exponential growth model and Gompertz model were adjusted for mass growth profiles and minerals accumulation, with different functions of variance, as also information and likelihood criteria evaluation. Diet effect and number of fetuses were recorded in all models, but the resulting models were no more likely than models with parity order effect. The exponential model was the best fit for the variables having an exponential variation during pregnancy. The minerals requirement is different between categories and the studied variables throughout pregnancy. The requirements of calcium and phosphorus for pregnant ewe and ewe lambs showed to be above the NRC (2007) recommendations.

**Keywords:** minerals, models, pregnancy, sheep

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL

A gestação é uma fase importante na vida das fêmeas, já que as transformações que ocorrem afetam não somente o aparelho reprodutivo, mas todo o organismo animal. O metabolismo da mãe sofre profundas modificações, pois deve prover o feto de todos os princípios nutritivos em quantidades suficientes para garantir o pleno desenvolvimento. Essa situação torna-se mais delicada ao trabalhar com borregas uma vez que esses animais iniciam a gestação ainda em fase de crescimento, necessitando de maior aporte nutricional.

A partir de conceitos de programação fetal, a baixa disponibilidade de nutrientes na dieta de gestantes pode afetar não somente o desenvolvimento de órgãos do feto, mas também pode alterar a fisiologia do animal ao nascer, bem como elevar as taxas de mortalidade, proporcionar baixo peso ao nascimento e, conseqüentemente, maior tempo para chegar ao abate. Segundo Wallace et al. (2001), uma restrição nutricional neste período leva à redução do peso ao nascimento de 25 a 30%, dependendo do grau de restrição. Ao mesmo tempo, fêmeas mal nutridas durante a gestação apresentam maior tempo de recuperação, aumentando o período entre as parições e menor número de partos duplos.

Durante as semanas que antecedem ao parto e no início da lactação eleva-se a demanda por minerais, principalmente cálcio, fósforo e magnésio em função dos processos de calcificação fetal e preparação para a lactação. Neste período, o organismo materno não consegue suprir a demanda apenas com a ingestão, tendo estes minerais que serem mobilizados da reserva óssea. Segundo Grace et al. (1986) a fração fetal do total de minerais do útero gravídico de ovinos aumenta mais rapidamente após os 100 dias de gestação e então passa a aumentar lentamente até o 143º dia quando as quantidades de Ca, P, Cu e Mn passam a explicar 92% da quantidade total de minerais no útero gravídico.

A exigência por minerais na fêmea gestante pode variar de acordo com a categoria (borregas x ovelhas), número de fetos e fase da gestação, sendo que a depender do mineral requerido, esse pode ter maior exigência no início ou no final da gestação. O ARC (1980) recomenda que para calcular as quantidades de nutrientes depositadas no útero grávido, em sucessivos estádios da gestação, é necessário conhecer: (1) a quantidade total de nutrientes no feto; (2) a quantidade adicional depositada nas membranas fetais, fluidos e parede uterina e (3) a quantidade de nutrientes depositada em diferentes idades gestacionais. Contudo, estudos com abates comparativos que avaliam composição mineral em ovelhas gestantes e a sua dinâmica no decorrer da gestação são raros e as pesquisas existentes são com raças lanadas.

Dentre as raças comumente utilizadas nos rebanhos comerciais brasileiros a Santa Inês se destaca por sua adaptabilidade em todo território nacional e principalmente pela sua prolificidade e habilidade materna o que confere sua prevalência nos sistemas produtivos. Diante disso, apresenta-se como uma raça importante para estudos no estágio gestacional.

A quantificação do metabolismo desse tipo de animal e o conhecimento sobre o fluxo de nutrientes com a finalidade de melhor compreensão da eficiência entre tecidos, órgãos, animais e suas categorias são essenciais para nutrição animal. Dessa forma, a modelagem matemática surge como uma ferramenta para compreender a dinâmica desse sistema complexo uma vez que modelo é uma representação da realidade e ilustra os componentes interligando os responsáveis por um determinado fenômeno. Portanto, entender como ocorre a dinâmica de minerais entre órgãos na fase gestacional em diferentes categorias é de extrema relevância não só para garantir o pleno desenvolvimento do feto bem como para compreendermos o metabolismo mineral tão pouco discutido na nutrição animal.

### **1.1 Hipótese**

Restrição nutricional, número de fetos e ordem de parto podem alterar estimativas de crescimento e composição de cálcio e fósforo do útero gravídico.

### **1.2 Objetivo geral**

Com base em um processo de seleção de modelos o objetivo estabelecido para este trabalho foi caracterizar o crescimento fetal e de útero gravídico e a composição de cálcio e fósforo dos mesmos para inferir como estes aspectos se relacionam com o crescimento ao longo da gestação em fêmeas ovinas Santa Inês.

### **1.3 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito da restrição nutricional, número de fetos e ordem de parto sobre ajuste de modelos para massa e composição de cálcio e fósforo no útero gravídico em fêmeas ovinas gestantes;

Gerar dados para predições de exigências minerais para ovelhas e borregas gestantes;

Utilizar essa ferramenta matemática como suporte à avaliação de resultados de pesquisa com minerais em ruminantes, tendo ovinos como exemplo.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Os minerais**

Os minerais estão envolvidos em quase todas as vias metabólicas do organismo animal, com funções importantes na reprodução, no crescimento, no metabolismo energético entre outras tantas funções fisiológicas vitais não só para a manutenção, como também para o aumento da produtividade do animal.

Sabe-se que aproximadamente 5% do peso total do corpo dos animais é constituído de minerais, de maneira que são classificados como macro (Ca, P, Mg, S, Na, K, Cl) ou microminerais, também chamados de elementos traço (Zn, Fe, Co, Cu, Mn, I, Se, Mo, F, Ni). Os macroelementos são utilizados principalmente para funções estruturais (cálcio, fósforo, enxofre) ou para a manutenção do balanço ácido-base (sódio, potássio e cloro) e são geralmente expressos em g/kg. Já os elementos microminerais, em mg/kg, atuam principalmente como cofatores enzimáticos (ferro, manganês e cobre), contribuindo de forma estrutural ou funcional para a atividade de enzimas (zinco, molibdênio, selênio), hormônios (iodo) ou vitaminas (cobalto) (Suttle, 2010).

O Ca é o mineral mais abundante no corpo e 99% são encontrados no esqueleto. O esqueleto não só proporciona uma estrutura de suporte para os músculos bem como protege os órgãos e tecidos, incluindo a medula óssea, mas também é articulado para permitir o movimento, e é maleável para permitir o crescimento.

A pequena proporção (1%) desse mineral do corpo que se situa fora do esqueleto pode ser encontrada como o íon livre, ligada a proteínas séricas e complexado com ácidos orgânicos e inorgânicos. O cálcio ionizado (50-60% do total de cálcio no plasma) é essencial para condução do sistema nervoso, contração muscular e a sinalização celular. Alterações nas concentrações de íons cálcio dentro e entre as células são modulados pela vitamina D3 e pelas proteínas de ligação ao cálcio (calmodulina e osteopontina). O cálcio ainda pode estabilizar ou ativar algumas enzimas e é necessário para a coagulação do sangue, o que facilita a conversão da protrombina em trombina, que reage com o fibrinogênio para formar o coágulo de sangue, a fibrina (Suttle, 2010).

O Ca pode ser considerado o mineral mais importante na produção animal pois desempenha inúmeras funções básicas no organismo relacionadas à integridade do esqueleto, à manutenção da permeabilidade normal das células, à coagulação do sangue e à regulação da excitabilidade neuromuscular. Nas últimas décadas, vários fatores na produção de ovinos se combinaram para aumentar de forma constante as necessidades de cálcio na dieta, com destaque

para: (i) melhoramento genético dos animais, resultando em um crescimento mais rápido e rendimentos mais elevados; (ii) aumento do uso de dietas com alta densidade energética; (iii) desmame precoce com a mudança de dieta líquida para sólidos, a partir do qual o cálcio é relativamente pouco absorvido; (iv) reprodução de animais imaturos, enquanto eles ainda estão em estágio de crescimento; e (v) aumento da incidência de partos duplos.

Braithwaite & Riazuddin (1971) avaliaram o efeito da idade e níveis de Ca dietético em carneiros sobre o metabolismo de cálcio e concluíram que a quantidade absorvida em animais jovens depende da ingestão mas que a porcentagem de Ca dietético absorvido é similar. Contudo, para animais mais velhos a quantidade de Ca absorvido não varia com a ingestão mas decresce com o avançar da idade. Além disso, esses autores observaram aumento da absorção de Ca em animais jovens em crescimento foi acompanhada por uma diminuição da velocidade de reabsorção óssea, mas a taxa de acreção óssea permaneceu inalterada. Alterações de níveis de Ca na dieta em animais mais velhos não teve qualquer efeito sobre qualquer um destes dois processos, contudo, ambas as taxas de acreção e reabsorção do osso diminuíram com a idade. Os resultados indicam que a reabsorção óssea é a principal via que rege a homeostase de Ca (Braithwaite, 1974) e a taxa de absorção de Ca é uma reflexão do estado de metabolismo do Ca e não ao grau de disponibilidade do Ca no alimento. Em animais jovens em crescimento a eficiência de absorção diminuiu de cerca de 40% a 2-3 meses para 36% em 9 meses.

Existem evidências consideráveis de que a absorção de Ca em animais adultos pode, sob condições de depleção esquelética grave, ser retomada a uma taxa que se aproxima à observada na infância ao apresentar aumento de absorção e resultando em maior retenção. Também têm sido relatados em ovelhas no final da lactação, após um período de saldo negativo prolongado durante a gestação e lactação (Braithwaite et al., 1970). Trabalhos sugerem que este aumento na quantidade de Ca absorvido por animais adultos pode ser um resultado do aumento do transporte ativo de Ca em todo o intestino. Entretanto, embora a taxa de absorção a partir do intestino delgado aumente de forma constante ao longo da gestação, a demanda extra de Ca durante este período é atendida principalmente por reabsorção óssea (Braithwaite et al., 1970).

É válido ressaltar que a demanda fetal de Ca é superior em ovelhas com dois fetos do que em ovelhas com gestação simples e geralmente é acompanhada pela diminuição das taxas de absorção intestinal e de reabsorção óssea. Para Braithwaite et al. (1970), o balanço de Ca materno permanece negativo até cerca de 40 d após o parto. Neste momento, a taxa de reabsorção do osso diminui rapidamente e as taxas de deposição óssea e de absorção de Ca a partir do intestino são, respectivamente, três e quatro vezes maiores do que no momento da

concepção. O balanço de Ca nas ovelhas torna-se, assim, positivo e continua a aumentar assim como perdas de Ca no leite diminui progressivamente.

O fósforo (P) é o segundo mineral mais abundante das ovelhas e, juntamente com o Ca, perfazem  $\cong 70\%$  do conteúdo de minerais do organismo e são responsáveis pela mineralização da matriz óssea na forma de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  e  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6$  conferindo rigidez e estrutura de sustentação para a musculatura. Cerca de 80% do P são encontrados nos ossos e dentes, os 20% restantes são amplamente distribuídos nos fluidos e tecidos do corpo, onde serve uma variedade de funções essenciais. Apesar de também exercer inúmeras funções no organismo animal principalmente ligadas ao metabolismo (componente do ATP, ácidos nucleicos, fosfolipídeos), o P é comumente referenciado como limitante da produção. Devido à deficiência generalizada desse mineral nas pastagens do Brasil Central e a maioria dos sistemas de produção ser extensivo, é comum observar animais com sintomas de deficiência de P (destacam-se apetite depravado, perda de peso e redução do crescimento) sendo indispensável a suplementação mineral.

Em ruminantes, a síntese de proteína microbiana pode ser prejudicada em dietas com baixa quantidade de fósforo (Morris & Ray, 1939). A absorção de fósforo ocorre principalmente no intestino delgado proximal e é em grande parte não regulada em todas as espécies. Em ovinos desmamados (Braithwaite, 1984b), a absorção de fósforo é linearmente relacionada à ingestão de P, com elevados coeficientes de absorção (0,68-0,80).

Segundo Morris & Ray (1939), o teor de P na dieta altera a ingestão de alimentos por ovelhas e, conseqüentemente, o desempenho animal. Dietas com baixo P diminui a ingestão de alimentos e, possivelmente, podem resultar em diminuição da secreção de sucos digestivos com a menor ingestão de P. Além disso, a digestibilidade da proteína diminuiu e é provavelmente o resultado de uma diminuição da secreção de sucos e enzimas digestivas, que parecem usar P em suas reações metabólicas (KLEIBER, 1935).

É válido ressaltar que uma dieta com baixos teores de P afeta não somente o metabolismo de proteína mas também o metabolismo de cálcio. Young et al. (1966) ao trabalharem com ovelhas recebendo diferentes quantidades de P na dieta, relataram que a taxa de deposição de cálcio nos ossos bem como a reabsorção óssea foi afetada negativamente como consequência de baixa disponibilidade de P na dieta.

## 2.2 Composição Corporal

O corpo do animal é composto basicamente por água, proteína, gordura e minerais. As proporções desses componentes variam de acordo com fatores como raça do animal, idade, velocidade de crescimento, condição sexual, plano nutricional, estágio fisiológico e uso de hormônios.

Para estimar as exigências nutricionais é fundamental o conhecimento da composição corporal e do ganho em peso, uma vez que estas características estão diretamente relacionadas. O método fatorial é bastante utilizado para a determinação das exigências nutricionais dos animais, pois fraciona as exigências dos animais em seus diversos componentes de produção: exigências de manutenção, de crescimento, de produção, de gestação e de lactação (ARC, 1980).

Outros métodos têm sido propostos para estimar a composição corporal além do método direto (análise de todos os tecidos): gravidade específica da carcaça, gravidade específica da seção da nona à décima primeira costela, radioisótopos (técnicas de diluição) e ultrassom. Dentre esses, o método direto é o mais preciso, porém o mais caro, pois além de exigir o abate dos animais, exclui a possibilidade de utilizá-los em outros estudos (Resende, 2006). Entretanto, o conhecimento da composição de cada parte do corpo animal permite identificar a prioridade de nutrientes, dependendo do estágio fisiológico que o animal se encontra. McNeill et al. (1996) e Scheaffer et al. (2004) verificaram que o útero gravídico possui total prioridade na captação de nutrientes, para poder promover o bom desenvolvimento da gestação.

## 2.3 Exigência de cálcio e fósforo na gestação

### 2.3.1 Agricultural Research Council - ARC (1980)

O ARC (1980) descreve, usando método fatorial, as exigências nutricionais de bovinos e ovinos em categorias: manutenção, crescimento, gestação e lactação.

Esse comitê expressa o requisito dietético (RD) de minerais, por meio da fórmula:

$$RD = \frac{(E+G+P+L)}{C}$$

Onde:

*E* = Perdas inevitáveis do elemento através das fezes e urina;

*G* = Retenção diária do elemento a uma determinada taxa e fase de crescimento;

*P* = Retenção diária do elemento no feto e anexos numa determinada fase da gestação;

*L* = Secreção diária do elemento no leite numa determinada fase da lactação;

*C* = Coeficiente de absorção (refere-se a razão entre a quantidade absorvida e a ingerida).

A retenção diária do elemento numa determinada fase ou categoria, segundo esse comitê, pode ser estimada a partir de medições da quantidade do elemento nas diversas partes corporais.

Na categoria animais em gestação, o comitê orienta que se meça a quantidade do elemento no feto ao nascer, na membrana e fluidos fetais, assim como na parede uterina durante as fases 9, 13, 17 e 21 semanas de prenhez em ovelhas de 40 e 75 kg de peso vivo. A partir desses dados foi ajustado a uma equação no modelo de Gompertz:

$$\log Y = A - Be^{-cx}$$

Onde:

$Y$  = Peso do feto ou útero gravídico em g;

$x$  = Tempo de gestação em dias;

$A, B, C$  = Parâmetros obtidos de um cordeiro de 4 kg aos 147 dias de gestação.

Tabela 1. Parâmetros para estimar os conteúdos de cálcio e fósforo do feto e do útero gravídico de ovelhas

Componente	Feto			Útero Gravídico		
	A	B	C	A	B	C
Cálcio	2,333	11,739	0,02124	2,499	7,406	0,01535
Fósforo	1,813	12,692	0,02412	1,981	5,862	0,01650

Assim, a deposição diária de minerais em ovelhas gestantes foi calculada a partir da derivada da equação de Gompertz:

$$Ca, P(gd^{-1}) = 2,303 bc \exp(-ct + 2,303a - 2,303be^{-ct})$$

Conceitualmente o método fatorial fornece dados satisfatórios na estimativa dos requisitos nutricionais. A crítica feita para validação desse método está relacionada à distribuição dos minerais pelo corpo do animal, uma vez que uma dieta pode não afetar o crescimento ou a produção de leite, entretanto, pode comprometer a concentração dos minerais nos tecidos e fluidos.

Esse comitê explica que a variação na exigência de cada elemento está relacionada com a variação dos coeficientes de absorção e perda endógena, devido às diferenças nas quantidades e precisão das diferentes bases de dados.

Field & Suttle (1969) trabalhando com cordeiro em crescimento e machos castrados encontraram perdas endógenas de cálcio entre (11 a 22 mg kg<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>), por outro lado, Neil & Moir (1974) em estudo similar encontraram valores entre (10 a 12 mg kg<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>).

Valores nessa magnitude de discrepância podem ser atribuídos às diferenças entre indivíduos avaliados na época, uma vez que, os estudos foram realizados com radioisótopos, que conferem precisão aos experimentos. Variações encontradas em diversas bases de dados ao longo dos anos fez com que o ARC (1980) estabelecesse o valor fixo de 16 mg kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de peso vivo para a perda endógena de cálcio e 14 mg kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de fósforo.

### 2.3.2 Agricultural and Food Research Council - AFRC (1991)

Novas sugestões para predição de exigência em cálcio e fósforo, a partir de uma atualização do ARC (1980), baseada em ingestão de matéria seca (IMS) como fator determinante na estimativa para perda endógena de cálcio e fósforo foram propostas:

$$Ca(E) (gd^{-1}) = 0,623 \text{ IMS } kgdia^{-1} + 0,228$$

$$P(E) (gd^{-1}) = 1,6 [-0,06 + 0,693 \text{ IMS } kgdia^{-1}]$$

Por outro lado, na estimativa da exigência de cálcio e fósforo para gestação de ovinos, o comitê manteve as mesmas equações e valores adotados pelo ARC (1980):

$$Ca_{(g \text{ } d^{-1})} = \frac{[0,228 + 0,623 \text{ IMS}] + 2,303 bc \exp[-ct + 2,303a - 2,303be^{-ct}]}{0,68}$$

$$P_{(g \text{ } d^{-1})} = \frac{1,6[-0,06 + 0,693 \text{ IMS}] + 2,303 bc \exp[-ct + 2,303a - 2,303be^{-ct}]}{0,64}$$

### 2.3.3 National Research Council – NRC (2007)

Passados 15 anos, o NRC (2007) estabeleceu importantes modificações nos modelos para estimar a exigência de minerais em ovinos sendo, atualmente, um comitê referência para pesquisadores em Zootecnia.

A primeira modificação foi o coeficiente de absorção de cálcio que, a partir do NRC (1985), ficou estipulado como 0,50 para ovinos em gestação baseado em informações do ARC (1980) e Braithwaite (1983a). A alteração justifica-se por esses estudos serem realizados no oeste dos EUA e apontarem que os solos da região apresentavam elevados níveis de carbonato de cálcio e magnésio. As forrageiras cultivadas nessas áreas continham teores de cálcio até nove vezes maiores do que o nível considerado adequado para o animal.

Outra mudança de requisito de cálcio para ovelhas gestantes no NRC (2007) foi a divisão em dois períodos de gestação e a inserção do peso ao nascer (PN) para nascimento simples, duplo ou triplo:

1. Requisito de cálcio em 105 a 133 dias de gestação

$$Ca_{(g\ d^{-1})} = \frac{[0,228 + 0,623\ IMS] + [0,214 * PN]}{0,50}$$

2. Requisito de cálcio em 133 a 147 dias de gestação

$$Ca_{(g\ d^{-1})} = \frac{[0,228 + 0,623\ IMS] + [0,329 * PN]}{0,50}$$

Para o fósforo, os coeficientes de absorção nos modelos de predição de exigências foram determinados a partir de pesquisas realizadas por Grace (1981), Field et al. (1982), Braithwaite (1983a, 1983b, 1984a, 1984b) e Field (1983, 1984). No que se refere à gestação foi estipulado o valor de 0,60. Assim, o requisito de fósforo, em analogia ao modelo utilizado para cálcio em ovelhas gestantes, no NRC (2007) foi calculado para dois períodos de gestação:

1. Requisito de fósforo em 105 a 133 dias de gestação

$$P_{(g\ d^{-1})} = \frac{[1,6(0,693\ IMS - 0,06)] + [0,111 * PN]}{0,60}$$

2. Requisito de fósforo em 133 a 147 dias de gestação

$$P_{(g\ d^{-1})} = \frac{[1,6(0,693\ IMS - 0,06)] + [0,138 * PN]}{0,60}$$

A taxa de crescimento em fêmeas ovinas primíparas, pela primeira vez, foi abordada por um comitê de nutrição, que considerou um acréscimo de 75 g dia<sup>-1</sup> na quantidade de cálcio e

fósforo na gestação e 75% à maturidade, com base na estimativa desses minerais depositados no ganho de peso.

#### 2.3.4 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO (2007)

O CSIRO (2007), assim como os outros comitês, fez estimativas do requisito líquido mineral pelo método fatorial, ou seja, pela soma das quantidades perdidas pelo corpo (excreções endógenas pelas fezes, urina, pele) e das quantidades armazenadas ou secretadas pelo corpo durante o crescimento, gravidez e lactação, dividido pelo coeficiente de absorção.

O modelo utilizado para perda fecal endógena de cálcio em ovinos para esse comitê foi o mesmo adotado pelo AFRC (1991). Entretanto, a estimativa para as perdas com fósforo foi alterada baseada em dados obtidos por Ternouth (1989):

$$P(E)_{(gestação/lactação)} = [0,61 IMS + 0,011PV]$$

O AFRC (1991) adotou o fator (1,6) no modelo para perdas fecais endógenas de fósforo quando encontraram diferença entre o fornecimento de dietas volumosas peletizadas ou não. A exclusão desse fator no modelo proposto pelo CSIRO (2007) se baseia em dados encontrados por Ternouth (1989), quando verificou não haver interação significativa entre formas como as dietas foram fornecidas.

O requisito de cálcio e fósforo para ovelhas gestantes seguiram o modelo adotado pelo ARC (1980):

$$Ca, P(gd^{-1}) = 2,303 bc \exp(-ct + 2,303a - 2,303be^{-ct})$$

Portanto, os comitês apresentaram modelos que estimam a exigência por minerais baseados no coeficiente de absorção do elemento, na caracterização do animal e ingestão dos alimentos, sendo que o ARC permanece como o comitê referência no estudo de exigência de minerais para ovinos, apesar da escassa base de dados. Entretanto, o fracionamento em dois períodos de gestação no modelo do NRC promoveu maior precisão na determinação dos requisitos minerais em ovinos.

## 2.4 A modelagem como ferramenta na Zootecnia

A modelagem matemática é uma ferramenta utilizada para lidar com situações pouco exequíveis, seja por motivos operacionais ou de custos, e que nos fornecem, de maneira simplificada, respostas próximas do real para a finalidade a que foi destinada (ROTHERBERG, 1989).

O modelo deverá ser muito próximo à realidade para obtenção de resultados relevantes, porém simples o suficiente para compreensão e manipulação dos cenários simulados (BARIONI, 2002). Além disso, sua estrutura deve ser flexível o suficiente para permitir a introdução de novas informações ou ideias à medida que o conhecimento científico for evoluindo.

Para a construção de um modelo é de extrema importância coletar o maior número de dados e informações sobre o que compõe o sistema, com a maior precisão e exatidão possível. Segundo Ragsdale (2009) esta construção baseia-se nas seguintes fases:

- 1- Percepção do problema;
- 2- Formular e implementar o modelo;
- 3- Analisar o modelo;
- 4- Testar os resultados;
- 5- Implementar a solução.

Essas fases deverão ser repetidas quantas vezes forem necessárias para que o usuário possa ter informações confiáveis geradas pelo modelo.

Os modelos matemáticos, segundo (Thornley & France, 2006), são classificados como: estáticos, dinâmicos, empíricos, mecanicistas, deterministas e estocásticos. Esses autores explicaram que os modelos estáticos descrevem o fenômeno em um determinado instante ou momento, isto é, não consideram o tempo como variável. Os comitês mundiais de nutrição utilizam modelos estáticos para estimar as exigências nutricionais dos animais. Entretanto, a estrutura do modelo de cada grupo de pesquisa é distinta conforme o objetivo e o grau de importância dado por cada comitê para as variáveis incluídas nas equações.

Pesquisadores da área de nutrição animal avaliam a análise bromatológica dos alimentos, a caracterização do animal, a descrição das condições edafoclimáticas e o conhecimento sobre a exigência de cada nutriente potencialmente utilizável pelo animal como base nos sistemas de formulação de dietas. Dessa maneira, concluem sobre a utilização de nutrientes e as possíveis consequências nos estágios de manutenção, crescimento, gestação e lactação com base em dados reais e estimativas. Para compreensão da dinâmica dessa complexidade, a modelagem

matemática surge como uma ferramenta utilizada pelos comitês nutricionais a fim de se chegar, com base em resultados seguros, próximo da realidade dessas exigências, especialmente em animais de produção.

Além disso, modelos matemáticos têm se mostrado eficientes para melhorar o desempenho e a saúde animal, reduzir a pressão nos custos de produção e nos impactos ambientais eventualmente ocasionados pelos sistemas produtivos.

Portanto, de maneira simplificada, através de um sistema computacional será possível modelar o sistema, as relações entre os seus componentes, realizar a simulação e estimar a resposta do modelo gerado. Desse modo, essa ferramenta pode ser considerada uma grande aliada na busca da diminuição da vulnerabilidade e dos riscos que compõem o sistema de produção, o que possibilita atingir as metas pretendidas, em busca de retornos econômicos além de tornar visível a dinâmica dos eventos do sistema.

## 2.5 Referências Bibliográficas

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. Technical committee on responses to nutrients, Report 6. A reappraisal of the calcium and phosphorous requirements of sheep and cattle. *Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)*, 61(9):576-607, 1991.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL – ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980. cap. 1, p. 1-24; cap. 5, 183-200.

BARIONI, L. G. *Modelagem dinâmica e otimização metaheurística para apoio à tomada de decisões na recria e engorda de bovinos de corte*. Piracicaba, 2002. 100p.

BRAITHWAITE, G. D. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation. 1. Calcium. *Br. J. Nutr.*, 50:711, 1983a.

BRAITHWAITE, G. D. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation. 2. Phosphorus. *Br. J. Nutr.*, 50:723, 1983b.

BRAITHWAITE, G. D. Changes in phosphorus metabolism of sheep in response to the increased demands for P associated with an intravenous infusion of calcium. *J. Agric. Sci.*, 102:135, 1984a.

BRAITHWAITE, G. D.; GLASCOCK, R. F.; RIAZUDDIN, SH. Calcium metabolism in pregnant ewes. *British Journal Nutrition*, 24: 661-670, 1970.

BRAITHWAITE, G. D. Some observations on phosphorus homoeostasis and requirements of sheep. *J. Agric. Sci.*, 102:295, 1984b.

BRAITHWAITE, G. D.; RIAZUDDIN, SH. The effect of age and level of dietary calcium intake on calcium metabolism in sheep. *British Journal Nutrition*, 26:215-225, 1971.

BRAITHWAITE, G. D. The effect of changes of dietary calcium concentration on calcium metabolism in sheep. *British Journal Nutrition*, 31:319-331, 1974.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION - CSIRO PUBLISHING. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Collingwood, Australia. 2007. 115-128p.

FIELD, A. C. Maintenance requirements of phosphorus and absorbability of dietary phosphorus in sheep. *J. Agric. Sci.*, 100:231, 1983.

FIELD, A. C. Genetic variation in mineral utilization by ruminants and its large effect on requirements. p. 71-93 In: "*IMC Mineral Conference*". International Minerals and Chemical Corporation, Mundelein, 7th Ann. Int. Miner. Conf. Clearwater Beach, Fla, 1984.

FIELD, A. C.; COOP, R. L.; DINGWALL, R. A. E. MUNRO, C. S. The phosphorus requirements for growth and maintenance of sheep. *J. Agric. Sci.*, 99:311, 1982.

FIELD, A. C.; SUTTLE, N. F. Some observations on endogenous loss of calcium in the sheep. *J. Agric. Sci., Camb.*, 73:507, 1969.

Kleiber, M. "The California apparatus for respiration trials with large animals". *Hilgardia*, 9, 1-70, 1935.

MCNEILL, D. M.; SLEPETIS, R.; EHRHARDT, R. A. et al. Protein Requirements of Sheep in late pregnancy: partitioning of nitrogen between gravid uterus and maternal tissues. *Journal of Animal Science*. v.75, p.809-816, 1996.

MORRIS, S.; RAY, S.C. The effect of a phosphorus deficiency on the protein and mineral metabolism of sheep, *Biochemical Journal*, Aug 33(8): 1209-1216, 1939.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of sheep*. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1985. 99p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of small ruminants*. 2007, p.112-118.

- NEIL, J.W., MOIR, R.J. The effect of ruminal and duodenal application of different levels of calcium and phosphorus to sheep on semi-purified diets. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 4:1-20, 1974.
- RAGSDALE, C. T. *Modelagem e análise de decisão*. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- ROTHERBERG, J.; WIDMAM, L.E.; LOPARO, K.A.; NIELSEN, N.R. *The nature of modelling*. In: Artificial intelligence, simulation and modelling. New York: John-Wiley, 1989. cap 3, p 75-92.
- SCHEAFFER, A. N.; CAATON, J. S.; REDMER, D. A. et al. The effect of dietary restriction, pregnancy, and fetal types on fetal weight, maternal body weight, and visceral organ mass in ewes. *Journal of Animal Science*. v.82, p.1826-1838, 2004.
- SUTTLE, N.F. *The mineral nutrition of livestock*. 4.ed. Wallingford, UK: CABI International, 2010. 579p.
- TERNOUTH, J. H. Endogenous losses of phosphorus by sheep. *J. Agric. Sci., Camb.* 113:291–297, 1989.
- THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. *Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, animal and ecological sciences*. 2nd. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2006.
- Wallace, J. M., D. A. P. Bourke, P. Da Silva, and R. P. Aitken. Nutrient partitioning during adolescent pregnancy. *Reproduction* 122:347–357, 2001.
- YOUNG, V. R.; LUICK, J. R.; LOFGREEN, G. P. The influence of dietary phosphorus intake on the rate of bone metabolism in sheep. *British Journal of Nutrition*, 20:727-732, 1966.

## **CAPÍTULO 3. CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CÁLCIO E FÓSFORO DO ÚTERO GRAVÍDICO E SEUS COMPONENTES AO LONGO DA GESTAÇÃO EM FÊMEAS OVINAS SANTA INÊS**

### **3.1 Resumo**

O objetivo foi caracterizar o crescimento do útero gravídico e seus componentes, bem como quantificar o acúmulo de cálcio e fósforo nesses compartimentos para inferir como estes aspectos se relacionam ao longo da gestação de fêmeas ovinas Santa Inês. Para tal utilizaram-se 83 ovelhas na terceira ordem de parto e 38 primíparas divididas em regime *ad libitum* e restrito em 15% de NDT (nutrientes digestíveis totais) e PB (proteína bruta) conforme exigências do NRC (edição 1985 para ovelhas e 2007 para borregas). Para a avaliação de retenção de minerais foram determinados os teores de cálcio (Ca) e fósforo (P) no útero gravídico a partir da técnica de abate comparativo, sendo os animais abatidos em diferentes idades gestacionais (ovelhas: 0, 90, 110, 130 e 140 dias; borregas: 0, 100, 130 e 140 dias de gestação). Todos os componentes foram pesados, amostrados e tiveram os teores de minerais quantificados a fim de se chegar à composição e conseqüentemente à exigência de minerais para gestação. Os modelos de crescimento exponencial e de Gompertz foram ajustados para os perfis de crescimento de massa e acúmulo de minerais com diferentes funções de variância e todos foram avaliados com base em critérios de informação e verossimilhança. Os efeitos de regime alimentar e de número de fetos foram contabilizados em todos os modelos, mas os modelos resultantes não foram mais propensos do que os modelos com efeito de ordem de parto. O modelo exponencial foi o melhor ajuste para as variáveis estudadas apresentando uma variação exponencial ao longo da gestação. As exigências minerais são diferentes entre as categorias (ordem de parto) e variáveis ao longo da gestação de forma que a adoção de valores fixos não é recomendada. As exigências de cálcio e fósforo para ovelhas e borregas gestantes ficaram acima do recomendado pelo NRC (2007).

**Palavras-chave:** cálcio, exigência, fósforo, ovinos, retenção

### **3.2 Introdução**

O período de desenvolvimento fetal é a fase mais crítica para fêmea ruminante, sendo que a exigência por minerais em gestantes varia conforme a categoria (borregas x ovelhas), número de fetos e fase da gestação.

Trabalhos nacionais que determinaram a exigência de minerais em ovinos em sua maioria avaliam a exigência para ganho de peso em cordeiros (Gerassev et al., 2000; Gerassev et al., 2001; Baião et al., 2003; Gonzaga Neto et al., 2005; Teixeira et al., 2013) sendo que não foram encontradas pesquisas com ovelhas gestantes. Por outro lado, estudos estrangeiros que abordam exigências minerais na gestação são mais comuns, contudo além de retratar raças muito distintas das nativas brasileiras (Braithwaite, 1983a; Braithwaite, 1983b; Grace, 1986), apresentam a composição corporal dos fetos e anexos de diversos nutrientes, porém apenas com o teor de cinzas, não discriminando a concentração dos minerais que os compõem (Rattray et al., 1974).

Com o intuito de preencher essa lacuna sobre a nutrição mineral, a modelagem matemática surge como uma ferramenta de auxílio aos pesquisadores para compreender melhor os acontecimentos ao longo da vida do animal, muito embora os parâmetros que constituem as funções matemáticas não lineares sejam artefatos da mente humana, os mesmos são representações úteis da realidade (Araújo et al., 2015).

Portanto, a partir de um processo de seleção de múltiplos modelos, o objetivo desse estudo foi o de caracterizar o crescimento fetal, do útero gravídico e a composição mineral dos mesmos para inferir como estes aspectos se relacionam com o crescimento ao longo da gestação em fêmeas ovinas Santa Inês.

### **3.3 Material e Métodos**

#### **3.3.1 Local, animais e manejo experimental**

O estudo foi conduzido durante os anos de 2006 a 2008 no município de Belo Horizonte (19° 49' 01" S, 43° 57' 21" W, 852 m de altitude), estado de Minas Gerais (Brasil). O clima da região é classificado como fronteiro entre o tropical com estação seca (Aw, segundo classificação Köppen) e o tropical de altitude (ou subtropical úmido – Cwa), com verões moderadamente quentes e úmidos e invernos secos e agradáveis. A temperatura é amena durante o ano, com médias variando de 18°C a 23°C, sendo a média anual de 21°C.

Oitenta e três ovelhas na terceira ordem de parto e 38 primíparas da raça Santa Inês foram adquiridas de um rebanho comercial e alocadas em regime *ad libitum* e restrito em 15% de NDT (nutrientes digestíveis totais) e PB (proteína bruta) segundo o NRC (edição 1985 para ovelhas e edição 2007 para borregas) e abatidas nos tempos 90, 110, 130 e 140 dias de gestação para ovelhas e 100, 130 e 140 dias de gestação para borregas. Dez ovelhas e 11 borregas não gestantes foram abatidas no tempo zero como animais referência.

A dieta dos animais foi fornecida duas vezes ao dia (oito e 17 horas) e era composta por farelo de milho (*Zea mays*), farelo de soja (*Glicine max*), feno de tifton picado e calcário conforme exigências nutricionais de ovelhas e borregas, respectivamente, Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de ovelhas vazias até os 120 dias de gestação

<b>Ingredientes /Manejo nutricional</b>	<b>Vazia restrito</b>	<b>Vazia não restrito</b>	<b>Simples restrito</b>	<b>Simples não restrito</b>	<b>Dupla restrito</b>	<b>Dupla não restrito</b>
Farelo de milho	6,73	5,17	8,73	26,35	28,48	49,81
Farelo de soja	2,44	24,05	1,93	4,55	5,17	8,09
Feno de <i>tifton</i>	90,72	70,47	89,25	68,82	66,04	41,63
Calcário	-	-	0,11	0,28	0,31	0,47
<b>Nutrientes</b>	Dieta para restrição(% MS <sup>1</sup> )			Dieta sem restrição(% MS <sup>1</sup> )		
PB <sup>2</sup>	8,08	9,50	7,93	9,32	9,60	11,19
NDT <sup>3</sup>	71,59	55,00	47,38	55,74	56,86	66,89
FDN <sup>4</sup>	46,75	57,60	70,55	56,47	54,55	37,68

<sup>1</sup> Matéria seca; <sup>2</sup> Proteína bruta; <sup>3</sup> Nutrientes digestíveis totais; <sup>4</sup> Fibra em detergente neutro.

Tabela 3. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de borregas vazias até os 120 dias de gestação

<b>Ingredientes</b>	<b>Dieta para restrição (%)</b>	<b>Dieta sem restrição (%)</b>
Farelo de milho	8,73	26,35
Farelo de soja	1,93	4,55
Feno de <i>tifton</i>	89,25	68,82
Calcário	0,11	0,28
<b>Nutrientes</b>	Dieta para restrição(% MS <sup>1</sup> )	Dieta sem restrição(% MS <sup>1</sup> )
PB <sup>2</sup>	7,93	9,32
NDT <sup>3</sup>	47,38	55,74
FDN <sup>4</sup>	70,55	56,74

<sup>1</sup> Matéria seca; <sup>2</sup> Proteína bruta; <sup>3</sup> Nutrientes digestíveis totais; <sup>4</sup> Fibra em detergente neutro.

O suplemento mineral ofertado aos animais era específico para ovinos (Vacci-phós, Vaccinar®) e fornecido à vontade assim como a água. Devido ao aumento das exigências nutricionais dos animais durante o terço final da gestação, duas dietas foram formuladas: fêmeas vazias até os 120 dias de gestação; e gestantes com 120 até 150 dias de gestação (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais dos 120 até 150 dias de gestação e a dieta única ao longo de toda gestação das ovelhas com gestação tripla

<b>Ingredientes / Manejo nutricional</b>	<b>Simples restrito</b>	<b>Simples não restrito</b>	<b>Dupla restrito</b>	<b>Dupla não restrito</b>	<b>Tripla</b>
Farelo de milho	11,90	30,57	26,09	43,69	68,56
Farelo de soja	5,27	8,50	5,79	9,29	14,80
Feno de <i>tifton</i>	82,65	60,53	67,78	46,41	16,02
Calcário	0,18	0,40	0,34	0,61	0,62
<b>Nutrientes</b>					
PB <sup>1</sup>	9,27	10,91	9,78	11,50	14,16
NDT <sup>2</sup>	50,00	59,00	56,08	64,76	77,31
FDN <sup>3</sup>	66,02	50,73	55,74	41,03	20,00

Os animais receberam uma mistura mineral comercial durante todo o período experimental cuja composição era de 15,88% cálcio, 9,03% fósforo, 15,11% sódio, 0,05% potássio, 0,43% magnésio, 0,80% ferro, 0,38% zinco, 0,22% manganês, 0,11% cobre e 0,005% de cobalto. <sup>1</sup> Proteína bruta; <sup>2</sup> Nutrientes digestíveis totais; <sup>3</sup> Fibra em detergente neutro.

Tabela 5. Composição centesimal e bromatológica das dietas experimentais de borregas dos 120 até 150 dias de gestação

<b>Ingredientes</b>	<b>Dieta para restrição (%)</b>	<b>Dieta sem restrição (%)</b>
Farelo de milho	11,90	30,57
Farelo de soja	5,27	8,50
Feno de <i>tifton</i>	89,65	60,53
Calcário	0,18	0,40
<b>Nutrientes</b>	<b>Dieta para restrição (% MS<sup>1</sup>)</b>	<b>Dieta sem restrição (% MS<sup>1</sup>)</b>
PB <sup>2</sup>	9,27	10,91
NDT <sup>3</sup>	50,00	59,00
FDN <sup>4</sup>	66,02	50,73

<sup>1</sup> Matéria seca; <sup>2</sup> Proteína bruta; <sup>3</sup> Nutrientes digestíveis totais; <sup>4</sup> Fibra em detergente neutro.

Ao completar o tempo de gestação correspondente ao tratamento, os animais foram abatidos, eviscerados e obtidos os componentes a serem analisados: carcaça, cabeça e patas, gorduras, vísceras, órgãos, pele, sangue, útero gestante (útero e placenta), feto, fluido fetal e glândula mamária. O processo de abate dos animais seguiu as recomendações feitas pelo Comitê Institucional de Ética em Experimentação Animal – Certificados 77/2006 e 232/2008.

### 3.3.2 Análises químicas

Os conteúdos de cálcio e fósforo foram determinados no tecido seco desengordurado em função da concentração desses em cada componente do corpo do animal já supracitados. Dessa forma, o método utilizado para determinação da composição corporal de minerais foi o método direto, que consiste na análise química de todos os tecidos do corpo do animal.

A solução mineral foi obtida por meio de abertura da amostra por via úmida segundo método 935.13 (AOAC, 2000). Para tal sobre uma massa de 250 mg da amostra colocada em tubos de vidro de micro Kjeldahl foram adicionados 10 mL de uma solução nitroperclórica composta por três partes de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> P.A.) e uma parte de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub> P.A.) e colocadas para digestão a 190°C. Para as amostras líquidas como o fluido fetal utilizou-se 10g. Após a digestão, a solução resultante foi filtrada em um balão volumétrico de 100 mL, utilizando papel de filtro quantitativo de 11 cm Ø, e completado o volume com o uso de água deionizada. A solução foi então transportada para frascos plásticos previamente identificados e armazenada até a leitura. O fósforo foi determinado por colorimetria e o cálcio por espectrofotometria de absorção atômica.

### 3.3.3 Modelos de crescimento e covariância

A estrutura geral atribuída aos modelos de crescimento foi  $Y_t = \mu_{Y_t} + e_t$ , para  $Y_t \sim Normal(\mu_{Y_t}, \sigma_{Y_t}^2)$ . Assume-se que a variável  $Y_t$  segue uma distribuição normal com média e funções de variância  $\mu_t$  e  $\sigma_{Y_t}^2$ , respectivamente, das seguintes formas:

$$\mu_{Y_t} = Y_0 \exp(kt) \quad \text{Eq (1)}$$

$$\mu_{Y_t} = Y_0 \exp\{k[1 - \exp(-D_t)]/D\} \quad \text{Eq (2)}$$

Fatores aleatórios não foram introduzidos nos modelos com exceção do erro aleatório e assumido independentemente distribuído, ou seja,  $e_t \sim Normal(0, \sigma_t^2)$ . A Eq (1) representa o modelo de crescimento exponencial, onde  $Y_0$  é o intercepto (expresso em unidade de massa) e  $k$  é a taxa de crescimento específico (1/dia). Já a Eq (2) é o modelo de Gompertz e os seus parâmetros  $Y_0$ ,  $k$  e  $D$  são o intercepto (expresso em unidade de massa), taxa de crescimento específico (1/dia) e taxa de redução fracionária da taxa de crescimento específico (1/dia), respectivamente (France et al., 1996).

A pressuposição usual de homocedasticidade foi testada por meio do emprego do procedimento NLMIXED do SAS (v.9.4, SAS Systems, Inc., Cary, NC, EUA). Foram introduzidos ao longo do tempo vários métodos para acomodar a heterogeneidade de variâncias na estimação não linear de parâmetros, tais como mínimos quadrados ponderados (Matis e Hartley, 1971; Bard, 1974). Contudo, apenas recentemente a análise computacional foi melhorada em termos de hardware e software para permitir a difusão do método de estimação por máxima verossimilhança de modelos não-lineares e estruturas de covariância que acomodam heterocedasticidade (Pinheiro e Bates, 2000; Littell et al., 2006; Vonesh, 2012). Assim, a variância foi modelada como se segue:

$$\sigma_{Y_t}^2 = \sigma^2; \quad \text{Eq (3)}$$

$$\sigma_{Y_t}^2 = \sigma_0^2[\exp(ct)]; \quad \text{Eq (4)}$$

Onde  $\sigma^2$  é a variância residual homogênea ( $\sigma_t^2 = \sigma^2$ ) conforme ilustrado pela equação (3). A variância exponencial ou Eq (4) contém a variância residual inicial ( $\sigma_t^2 = \sigma_0^2$ ) associada ao peso inicial ( $t = 0$ ) e que aumenta de forma exponencial durante o crescimento a uma taxa fracionária  $c$  (1/dia).

### 3.3.4 Procedimento estatístico

Os 4 modelos obtidos pela combinação das Equações (1) e (2) com as equações (3) e (4) foram ajustados para os perfis de crescimento usando o procedimento NLMIXED do SAS (v.9.4, SAS Systems, Inc., Cary, NC, EUA). O algoritmo de Newton-Raphson escolhido (TECH = NEWRAP) resolveu o método de estimação por máxima verossimilhança. O critério de informação de Akaike (Akaike 1974), corrigido para pequenas amostras ou AICc (Sugiura 1978), é uma saída do procedimento NLMIXED. Portanto, os critérios de verossimilhança derivados do AICc foram calculados para estabelecer um quadro de seleção múltipla de modelos mais adequados à descrição dos dados (Burnham e Anderson, 2004).

O critério de Akaike corrigido, i.e.,  $AICc_r$ , calculado para o  $r$ -ésimo modelo de no conjunto de 4 modelos foi utilizado para calcular as diferenças ( $\Delta_r$ ) entre o  $AICc_r$  do  $r$ -ésimo modelo e o mínimo  $AICc_r$  calculado no conjunto de 4 modelos testados. A probabilidade de verossimilhança ou  $w_r$  (ou peso de Akaike) foi calculado para cada um dos 4 modelos. A razão de evidência  $ER_r$  foi calculada a partir da  $w_r$  máxima do conjunto de modelos ajustados e o respectivo valor de  $w_r$  para o  $r$ -ésimo modelo ajustado sob avaliação. Os modelos que

apresentaram  $0 \leq \Delta r \leq 2$  também apresentaram maior  $w_r$  e valores de  $ER_r$  mais baixos e, portanto, foram considerados a melhor escolha, tendo em conta que os dados analisados representam a realidade. Modelos com  $2 < \Delta r \leq 8$  foram considerados como tendo menor verossimilhança à realidade e modelos com  $\Delta r > 8$  foram consideradas as piores escolhas entre os modelos avaliados. O número de parâmetros ( $\Theta$ ) foi considerado como critério de parcimônia adicional sempre que os modelos foram equiprováveis (ou seja, qualquer valor de  $w_r$  calculado no intervalo de  $0 \leq \Delta r \leq 2$ ), e o modelo com menor número de parâmetros foi preferencialmente escolhido (Burnham e Anderson 2004). Uma matriz de covariância de posto completo para os parâmetros à convergência é um indicativo de que o modelo está bem-condicionado e produz estimativas dos parâmetros de covariância confiáveis a convergência (Pinheiro e Bates, 2000). Portanto, a saída de uma matriz de covariância de posto completo foi considerada um critério de distinção que prevaleceu sobre os demais critérios. Isso significa que o modelo escolhido no conjunto de possíveis modelos foi o que apresentou uma matriz de covariância completa, critérios de informação igualmente prováveis e o menor  $\Theta$ .

Uma das vantagens do processo NLMIXED é a capacidade de prever qualquer função dos parâmetros do modelo e a realização de testes de hipótese não-linear geral, isto é, qualquer função  $g(\theta, t)$  dos parâmetros pode ser prevista (Littell et al 2006; Vonesh 2012). A taxa média diária de acreção de massa ( $\Delta Y_t / \Delta t$ ) pode ser listada como um exemplo. Portanto, com base na matriz de covariância estimada de  $Y_t$  e parâmetros de estimativa com base nos dados, foram estimados intervalos de confiança a 99% (IC 99%) para  $g(\theta, t)$  que figuraram na saída do NLMIXED:

$$\text{IC 99\%: } \hat{g}(\hat{\theta}, t) \pm t_{(1-\alpha, gl)} \widehat{DP}_{g(\theta, t)} \quad \text{Eq (5)}$$

A estimativa  $\widehat{DP}$  é o erro padrão da estimativa de  $\hat{g}(\hat{\theta}, t)$ ;  $t_{(1-\alpha, gl)}$  é o valor crítico bicaudal da distribuição  $t$  de Student com base no nível de significância adotado ( $\alpha = 0.01$ ) e  $gl$  representam os graus de liberdade utilizados para calcular a estimativa,  $gl = n - \Theta$ , em que  $n$  representa o número de observações e  $\Theta$  correspondente ao número de parâmetros de  $g(\theta, t)$ , incluindo os parâmetros de variância das Eq (3) e (4). Portanto,  $DP_{g(\theta, t)}$  pode ser facilmente obtido através da divisão da quantidade relatada  $t_{(1-\alpha, gl)} \widehat{DP}_{g(\theta, t)}$  por  $t_{(1-\alpha, gl)}$ .

### 3.3.5 Composição do útero gravídico

O modelo que melhor representou a massa corporal (MC), a massa do corpo vazio (MCV) e o acúmulo de minerais no útero gravídico e seus componentes foi a equação (1) combinado com a equação (4). Portanto, para representar a composição do útero gravídico como uma proporção de partes do corpo bem como a retenção mineral no útero, a seguinte proporção foi estimada:

$$y' = Y_t/X_t \quad \text{Eq (6)}$$

Onde  $Y_t$  representa a massa de alguma parte do corpo ou constituinte mineral. O  $y'$  esperado foi multiplicado por 1000 para expressar resultados em g/kg de  $X = \text{MCV}$ , sendo MCV a massa do corpo vazio.

No entanto, a relação entre duas variáveis com distribuição normal tem distribuição de Cauchy, que não tem média e tampouco os momentos superiores (Mood et al. 1974). Uma vez que a transformação Box-Cox (Box e Cox 1964) é útil para corrigir a falta de normalidade (Peltier et al., 1998), o procedimento TRANSREG do SAS foi usado para obter uma transformação adequada para a Eq (6). Como resultado, o valor do parâmetro  $\lambda$  da transformação de Box-Cox que maximizou o logaritmo da função de probabilidade para cada proporção com base na Eq (6) do presente estudo foi zero. Portanto,  $y'$  foi transformada como:

$$y^T = \ln y' = \ln(Y_t/X_t) \sim \text{Normal}(\mu, \sigma^2) \quad \text{Eq (7)}$$

O que significa que o logaritmo natural (ln) de  $y'$ , ou seja,  $y^T$ , segue distribuição normal com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ . Porque  $\mu_{Y_t}$ ,  $\sigma_{Y_t}^2$ ,  $\mu_{X_t}$  e  $\sigma_{X_t}^2$  já são conhecidos a partir dos modelos que apresentaram  $\Delta r = 0$  e representam média esperada e variância de  $Y_t$  (todas as variáveis exceto MC e MCV) e  $X_t$  (MC e MCV), uma estimativa direta com base na função de  $\mu_{Y_t}$ ,  $\sigma_{Y_t}^2$ ,  $\mu_{X_t}$  e  $\sigma_{X_t}^2$  foi estimada como IC99% para a Eq (6). Porque as variáveis  $Y_t$  e  $X_t$  são dependentes uma da outra, a média esperada ( $E[Y_t/X_t]$ ) e a variância ( $V[Y_t/X_t]$ ) desta razão são dadas pelas seguintes aproximações (Mood et al., 1974):

$$E[Y_t/X_t] \approx \mu_{Y_t}/\mu_{X_t} - \text{cov}[Y_t, X_t]/\mu_{X_t}^2 + \sigma_{X_t}^2 \mu_t / \mu_{X_t}^3 \quad \text{Eq (8)}$$

$$V[Y_t/X_t] \approx (\mu_{Y_t}/\mu_{X_t})^2 (\sigma_{Y_t}^2/\mu_{Y_t}^2 + \sigma_{X_t}^2/\mu_{X_t}^2 - 2\text{cov}[Y_t, X_t]/(\mu_{Y_t}/\mu_{X_t})) \quad \text{Eq (9)}$$

em que  $cov[Y_t, X_t] = \rho_{Y_t, X_t} \sigma_{Y_t} \sigma_{X_t}$ . Note-se que a correlação entre  $Y_t$  e  $X_t$  ( $\rho_{Y_t, X_t}$ ) é o único parâmetro que permanece desconhecido. Se  $Y_t$  é normalmente distribuída como indicado na Equação (7), em seguida, foi assumido implicitamente que a razão de  $Y_t/X_t$  segue uma distribuição log-normal com média e variância dada pelas Eq (10) e (11):

$$E[Y_t/X_t] = \exp(\mu + \sigma^2/2) \quad \text{Eq (10)}$$

$$V[Y_t/X_t] = \exp(2\mu + 2\sigma^2) - \exp(2\mu + \sigma^2) \quad \text{Eq (11)}$$

As soluções para  $\mu$  e  $\sigma^2$  foram obtidas algebricamente equacionando as Eq (8) e (10), e as Eq (9) e (11), e resolvendo para  $\mu$  e  $\sigma^2$ , conforme Araújo et al. (2015):

$$\mu \approx \ln(\mu_{Y_t}/\mu_{X_t} - \rho_{Y_t, X_t} \sigma_{Y_t} \sigma_{X_t}/\mu_{X_t}^2 + \sigma_{X_t}^2 \mu_t/\mu_{X_t}^3 - \sigma^2/2) \quad \text{Eq (12)}$$

$$\sigma^2 \approx \ln(1 + \mu_{Y_t}/\mu_{X_t})^2 \left( \frac{\sigma_{Y_t}^2}{\mu_{Y_t}^2} + \frac{\sigma_{X_t}^2}{\mu_{X_t}^2} - 2 \rho_{Y_t, X_t} \sigma_{Y_t} \sigma_{X_t}/ \right.$$

$$\left. \mu_{Y_t} \mu_{X_t} * \exp(-2 \ln \left( \frac{\mu_{Y_t}}{\mu_{X_t}} - \frac{\rho_{Y_t, X_t} \sigma_{Y_t} \sigma_{X_t}}{\mu_{X_t}^2} + \frac{\sigma_{X_t}^2 \mu_{Y_t}}{\mu_{X_t}^3} \right) \right) \quad \text{Eq (13)}$$

Portanto, o procedimento NLMIXED foi utilizado para prever  $E[Y_t/X_t]$  considerando  $y^T \sim \text{Normal}(\mu, \sigma^2)$ . Os parâmetros estimados de  $\mu_{Y_t}$ ,  $\sigma_{Y_t}^2$ ,  $\mu_{X_t}$  e  $\sigma_{X_t}^2$  foram usados como constantes nas sentenças de programação do procedimento NLMIXED e o algoritmo NEWRAP foi escolhido para estimar o parâmetro  $\rho_{Y_t, X_t}$ . Uma vez estimada, a correlação  $\rho_{Y_t, X_t}$  foi adicionada ao conjunto de parâmetros (PARMS) envolvidos no processo de avaliação, ou seja, as estimativas dos parâmetros de  $\mu_{Y_t}$ ,  $\sigma_{Y_t}^2$ ,  $\mu_{X_t}$  e  $\sigma_{X_t}^2$ , e o procedimento NLMIXED foi executado sem otimização (TECH = NONE) com o conjunto ampliado de parâmetros (PARMS) pela adição de  $\rho_{Y_t, X_t}$ . Os graus de liberdade foram calculados de acordo com o número de observações e o número de parâmetros.

### 3.4 Resultados

#### 3.4.1 A seleção do melhor modelo

As avaliações das possíveis combinações entre os modelos Eq (1) e (2) e a funções de variâncias Eq (3) e (4) quanto à verossimilhança aos perfis de crescimento dos constituintes do útero gravídico e a composição de Ca e P dos mesmos ao longo da gestação estão apresentadas na Tabela 6. Nem todas as combinações de modelo produziram ajustes com matriz hessiana positiva definida. Dessa forma, modelos que apresentaram menores valores de AICc mas não produziram ajustes com matriz hessiana positiva definida foram excluídos como opção de melhor modelo.

A combinação selecionada de acordo com o critério de verossimilhança para a maioria das variáveis analisadas foi o modelo exponencial Eq (1) com função de variância exponencial Eq (4) específica para cada ordem de parto (OP – borregas e ovelhas) e estimativas dos parâmetros do modelo para cada um dos grupos de dados relacionados a OP. As exceções foram para as variáveis massa de útero, Eq (1) e (4) com estimativas dos parâmetros para número fetos, e massa de P no líquido fetal, Eq (1) e (3) com estimativas dos parâmetros comuns (médio) a todas populações analisadas. Dessa forma, a tradicional pressuposição de homocedasticidade da variância Eq (3) foi adequada para representar apenas a variabilidade do perfil de massa de P no líquido fetal (Tabela 6).

Tabela 6. Melhores ajustes para modelos testados\* para o crescimento fetal, corporal e composição de cálcio (Ca) e fósforo (P) no útero gravídico de borregas e ovelhas e seus constituintes

Variável	Modelo	Função de Variância	Pop. ‡	AIC <sub>c,r</sub> †	$\Delta_r$ †	$w_r$ †	ER <sub>r</sub> †	$\Theta_r$ †
MFeto	Eq (1)	Eq (4)	Nfet	299,6	0,0	0,999	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	Todos	313,9	14,3	0,001	1274	16
	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	324,1	24,5	0,000	$2,1 \times 10^5$	8
Ca feto	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	801,1	0,0	1	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	Todos	829,1	28,0	0,000	$1,2 \times 10^6$	16
	Eq (1)	Eq (4)	OP	830,6	29,5	0,000	$2,5 \times 10^6$	6
P feto	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	682,8	0,0	1	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	Nfet	720,2	37,4	0,000	$1 \times 10^8$	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	722,3	39,5	0,000	$4 \times 10^8$	6
MLiq	Eq (1)	Eq (4)	NFet	1514,6	0,0	0,987	1	8
	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	1544,5	8,7	0,013	77	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	1566,5	30,7	0,000	$5 \times 10^6$	6
Ca liq	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	1115,2	0,0	0,986	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	1123,9	8,7	0,013	77	6
	Eq (1)	Eq (4)	Médio	1129,7	14,5	0,001	1408	4
P liq	Eq (1) #	Eq (3)	Médio	413,0	0,0	0,545	1	3
	Eq (1)	Eq (4)	Médio	415,0	2,0	0,201	2	4
	Eq (2)	Eq (4)	Médio	415,2	2,2	0,182	3	4
MUte	Eq (1)	Eq (4)	Todos	8,5	0,0	0,998	1	16
	Eq (1) #	Eq (4)	NFet	20,3	11,8	0,003	365	8
	Eq (1)	Eq (4) – OP§	OP	42,2	33,7	0,000	$2 \times 10^6$	8
Ca ute	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	251,9	0,0	1	1	8
	Eq (2)	Eq (4)	OP	306,4	54,5	0,000	$7 \times 10^{11}$	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	311,0	59,1	0,000	$7 \times 10^{12}$	6
P ute	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	167,3	0,0	1	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	NFet	208,1	40,8	0,000	$7 \times 10^8$	8
	Eq (2)	Eq (4)	OP	214,2	46,9	0,000	$1 \times 10^{10}$	8
MGrav	Eq (1)	Eq (4)	NFet	321,9	0,0	0,984	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	Todos	330,1	8,2	0,016	60	16
	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	401,2	79,3	0,000	$2 \times 10^{17}$	8
Ca grav	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	865,3	0,0	0,999	1	8
	Eq (2)	Eq (4)	OP	890,2	24,9	0,000	$3 \times 10^5$	8
	Eq (1)	Eq (4)	Médio	896,1	30,8	0,000	$5 \times 10^6$	16
P grav	Eq (1) #	Eq (4) – OP§	OP	767,9	0,0	0,999	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	Médio	792,9	25	0,000	$3 \times 10^5$	4

	Eq (1)	Eq (4)	OP	794,3	26,4	0,000	$5 \times 10^5$	6
MC	Eq (1) <sup>#</sup>	Eq (4) – OP <sup>§</sup>	OP	846,5	0,0	0,987	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	855,2	8,7	0,013	77	6
	Eq (2)	Eq (4)	OP	872,2	25,7	0,000	$4 \times 10^5$	8
MCV	Eq (1) <sup>#</sup>	Eq (4) – OP <sup>§</sup>	OP	839,4	0,0	0,928	1	8
	Eq (1)	Eq (4)	OP	844,5	5,1	0,072	12	6
	Eq (2)	Eq (4)	OP	866,0	26,6	0,000	$6 \times 10^5$	8

\*Detalhes das Eqs (1) a (4) estão no texto. <sup>§</sup> função de variância alocada apenas nas diferentes ordens de parto (OP- borregas e ovelhas); <sup>‡</sup> estimativas de parâmetro para cada população: ordem de parto (OP), manejo nutricional (MAN), números de fetos (N Fet), todos (OP, MAN e NFet) e médio, estimativa comum a todas as populações. <sup>†</sup> Critério de informação do Akaike corrigido (AICc) do r-ésimo modelo;  $\Delta_r$ , variação entre os valores de AICc;  $w_r$ , probabilidade de verossimilhança do r-ésimo modelo;  $ER_r$ , razão de evidência em relação ao r-ésimo modelo;  $\Theta_r$ , número de parâmetros do r-ésimo modelo; MFeto=massa do feto; MLiq=massa de líquido fetal; MUte=massa de útero + placenta; MGrav=massa de útero gravídico; MC=Massa corporal; MCV=Massa de corpo vazio. <sup>#</sup>Modelo escolhido para cada variável analisada.

Todas as estimativas dos parâmetros com seus respectivos erros padrão ( $EP_\theta$ ) do modelo exponencial Eq (1) e da função de variância Eq (3) e (4) escolhida para cada variável estão apresentadas na Tabela 7. Parâmetros  $Y_{01}$ ,  $k_1$ ,  $s_{01}$  e  $c_1$  correspondem às estimativas de borregas e  $Y_{02}$ ,  $k_2$ ,  $s_{02}$  e  $c_2$  são de ovelhas.

Tabela 7. Estimativas dos parâmetros do modelo e da função de variância com seus respectivos erros padrão ( $EP_{\theta}$ ) da combinação mais provável para cada variável

Variável	Modelo*	Parâmetros de $\mu_{Y_t}$ ( $EP_{\theta}$ )	Parâmetros de $\sigma_{Y_t}^2$ ( $EP_{\theta}$ )
MFeto <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,077$ (0,080); $Y_{02} = 0,018$ (0,007); $k_1 = 0,028$ (0,008); $k_2 = 0,042$ (0,003)	$s_{01} = 31,826$ (31,956); $s_{02} = 0,025$ (0,014); $c_1 = -0,059$ (0,016); $c_2 = 0,064$ (0,009)
Ca feto	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,491$ (0,706); $Y_{02} = 0,060$ (0,030); $k_1 = 0,033$ (0,011); $k_2 = 0,052$ (0,004)	$s_{01} = 108,06$ (102,12); $s_{02} = 0,121$ (0,081); $c_1 = -0,032$ (0,015); $c_2 = 0,082$ (0,011)
P feto	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,060$ (0,147); $Y_{02} = 0,046$ (0,023); $k_1 = 0,043$ (0,0178); $k_2 = 0,050$ (0,004)	$s_{01} = 272,39$ (274,27); $s_{02} = 0,045$ (0,035); $c_1 = -0,057$ (0,016); $c_2 = 0,091$ (0,012)
MLiq <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 146,68$ (85,14); $Y_{02} = 1274,91$ (51,62); $k_1 = 0,013$ (0,005); $k_2 = 0,008$ (0,005)	$s_{01} = 2,383$ (1,096); $s_{02} = 4,105$ (0,880); $c_1 = 0,078$ (0,009); $c_2 = 0,088$ (0,005)
Ca liq	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 5,898$ (3,508); $Y_{02} = 1,752$ (1,862); $k_1 = 0,023$ (0,005); $k_2 = 0,028$ (0,010)	$s_{01} = 0,816$ (0,911); $s_{02} = 0,104$ (0,052); $c_1 = 0,065$ (0,019); $c_2 = 0,109$ (0,008)
P liq	Eq (1) e (3)	$Y_0 = 1,531$ (0,555); $k = 1,00E-08$	$s = 4,606$ (0,392)
MUte <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,049$ (0,005); $Y_{02} = 0,227$ (0,053); $k_1 = 0,024$ (0,001); $k_2 = 0,015$ (0,002)	$s_{01} = 0,017$ (0,004); $s_{02} = 0,173$ (0,058); $c_1 = 0,038$ (0,005); $c_2 = 0,018$ (0,006)
Ca ute	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,054$ (0,008); $Y_{02} = 0,057$ (0,021); $k_1 = 0,036$ (0,002); $k_2 = 0,023$ (0,003)	$s_{01} = 0,025$ (0,005); $s_{02} = 0,070$ (0,026); $c_1 = 0,078$ (0,004); $c_2 = 0,040$ (0,007)
P ute	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,028$ (0,004); $Y_{02} = 0,560$ (0,168); $k_1 = 0,026$ (0,002); $k_2 = 0,009$ (0,002)	$s_{01} = 0,013$ (0,003); $s_{02} = 0,773$ (0,246); $c_1 = 0,060$ (0,004); $c_2 = -0,002$ (0,006)
MGrav <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,046$ (0,006); $Y_{02} = 0,144$ (0,030); $k_1 = 0,036$ (0,002); $k_2 = 0,031$ (0,002)	$s_{01} = 0,021$ (0,006); $s_{02} = 0,080$ (0,032); $c_1 = 0,077$ (0,006); $c_2 = 0,056$ (0,007)
Ca grav	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,056$ (0,011); $Y_{02} = 0,022$ (0,004); $k_1 = 0,054$ (0,003); $k_2 = 0,060$ (0,002)	$s_{01} = 0,038$ (0,011); $s_{02} = 0,014$ (0,005); $c_1 = 0,118$ (0,007); $c_2 = 0,121$ (0,006)
P grav	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 0,028$ (0,006); $Y_{02} = 0,082$ (0,013); $k_1 = 0,052$ (0,004); $k_2 = 0,045$ (0,002)	$s_{01} = 0,019$ (0,006); $s_{02} = 0,045$ (0,010); $c_1 = 0,123$ (0,007); $c_2 = 0,093$ (0,004)
MC <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 34,1$ (1,2); $Y_{02} = 40,6$ (2,1); $k_1 = 0,002$ (0,0004); $k_2 = 0,002$ (0,001)	$s_{01} = 3,89$ (0,79); $s_{02} = 6,80$ (1,43); $c_1 = 0,0053$ (0,0038); $c_2 = 0,0053$ (0,0036)
MCV <sup>ψ</sup>	Eq (1) e (4)	$Y_{01} = 25,8$ (1,3); $Y_{02} = 31,5$ (2,1); $k_1 = 0,002$ (0,001); $k_2 = 0,003$ (0,001)	$s_{01} = 4,30$ (0,87); $s_{02} = 6,49$ (1,38); $c_1 = 0,004$ (0,004); $c_2 = 0,005$ (0,004)

\* mais detalhes dos modelos Eq. (1) (3) e (4) estão no texto. <sup>ψ</sup>MFeto=massa do feto (g); MLiq=massa de líquido fetal (mg); MUte=massa de útero + placenta (g); MGrav=massa de útero gravídico (g); MC=Massa corporal (kg); MCV=Massa de corpo vazio (kg).

### **3.4.2 Crescimento e composição dos componentes do útero gravídico**

A massa fetal (MFeto) mostrou-se crescente e diferente entre os tempos de gestação para ambas as categorias. Ao comparar ordem de parto, as borregas apresentaram massa de feto maior somente até os 100 dias de gestação. A quantidade de Ca e P no feto acompanhou o crescimento fetal para multíparas. No terço final da gestação de primíparas o acúmulo de Ca e P no feto permaneceu constante. Dentro de categoria, até os 100 dias de gestação, o conteúdo de P foi maior para borregas e o Ca foi semelhante para ambas. A partir deste ponto as ovelhas apresentaram maior quantidade de ambos os minerais (Tabela 8).

A massa de líquido fetal (MLiq) foi superior em ovelhas, porém aproximadamente constante em todo período gestacional em ambas categorias. As borregas contiveram maior quantidade de Ca no líquido fetal e crescente até 130 dias. Ovelhas não expuseram diferença nas quantidades de Ca e P com o decorrer da gestação. A concentração de fósforo no líquido fetal de borregas esteve abaixo do limite analítico de detecção da técnica utilizada (Tabela 8).

A massa de útero (MUte) apresentou-se maior em multíparas, sendo que no terço final não houve acréscimo de massa para ovelhas. Já nas primíparas cresceu conforme o avanço da gestação. O acúmulo de Ca no útero de borregas foi superior às ovelhas em todos os tempos e crescente até 130 dias. Animais não gestantes não tiveram diferença na composição de Ca independente da ordem de parto. O fósforo no útero de ovelhas foi maior quando estas estavam gestantes e em maior quantidade às borregas que apresentou acréscimo até os 130 dias (Tabela 8).

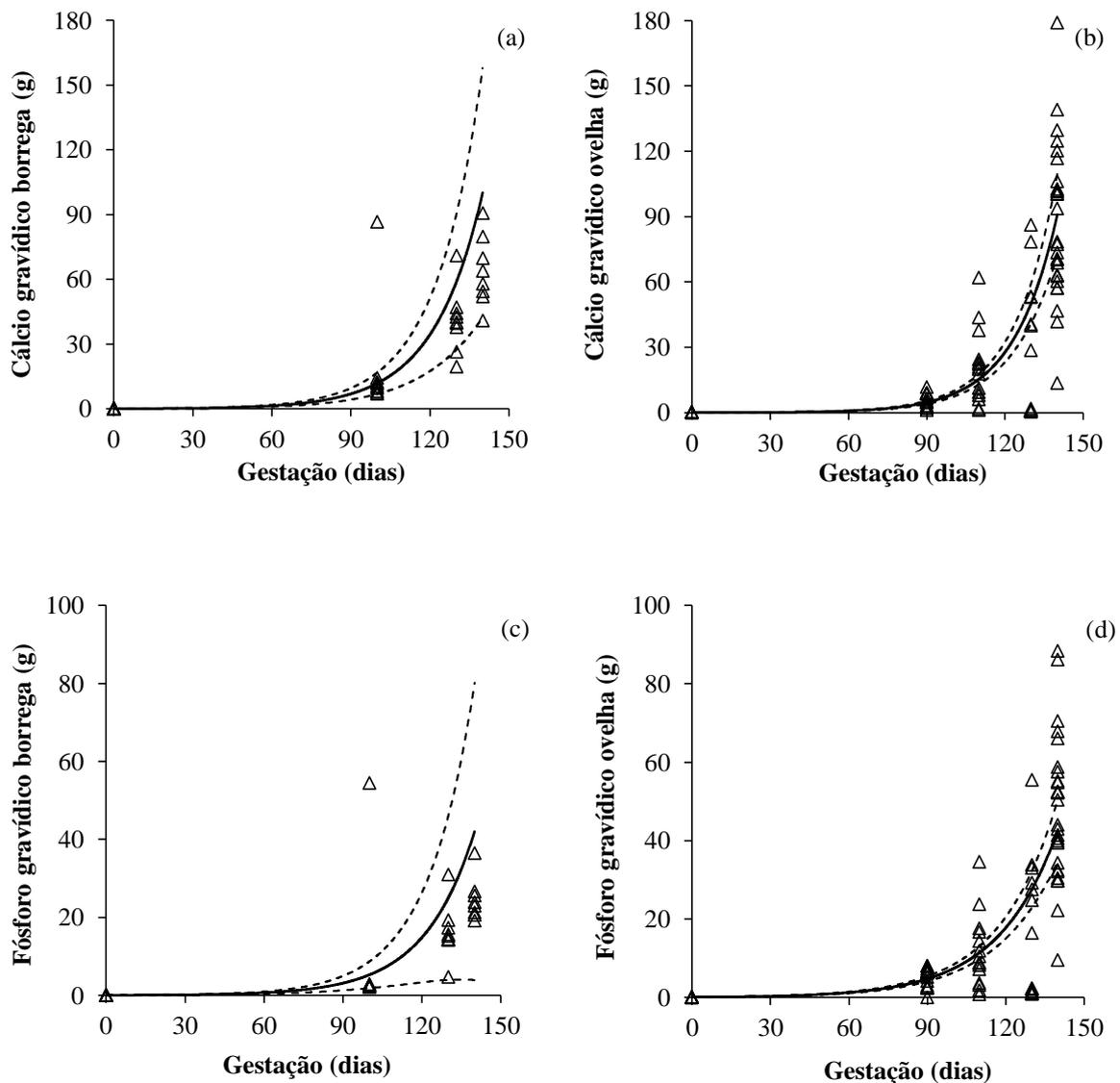
Tabela 8. Estimativas e intervalo de confiança (95%) de massa e da composição de cálcio e fósforo dos componentes no útero gravídico de borregas e ovelhas ao longo da gestação

Variável	Dias de gestação					
	0	90	100	110	130	140
<i>Borregas</i>						
MFeto <sup>a</sup>	-	-	1,21 (0,51;1,91)	-	2,75 (2,37;3,13)	3,62 (3,27;3,97)
Ca feto <sup>b</sup>	-	-	13,80 (2,74;24,87)	-	37,58 (30,20;44,95)	52,47 (44,25;60,68)
P feto <sup>b</sup>	-	-	5,08 (0,54;10,70)	-	16,03 (11,88;20,19)	23,51 (20,07;26,96)
MLiq <sup>a</sup>	-	-	0,52 (0,39;0,65)	-	0,76 (0,65;0,86)	0,86 (0,70;1,01)
Ca liq <sup>b</sup>	-	-	0,06 (0,04;0,07)	-	0,11 (0,08;0,14)	0,14 (0,09;0,18)
P liq <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	-
MUte <sup>a</sup>	0,05 (0,04;0,06)	-	0,52 (0,48;0,55)	-	1,04 (0,96;1,13)	1,32 (1,20;1,44)
Ca ute <sup>b</sup>	0,05 (0,04;0,07)	-	2,14 (1,69;2,60)	-	6,47 (4,76;8,18)	9,35 (6,67;12,03)
P ute <sup>b</sup>	0,03 (0,02;0,04)	-	0,35 (0,31;0,39)	-	0,73 (0,65;0,82)	0,94 (0,82;1,06)
<i>Ovelhas</i>						
MFeto <sup>a</sup>	-	0,77 (0,58;0,97)	-	1,78 (1,52;2,04)	4,08 (3,69;4,48)	6,19 (5,45;6,92)
Ca feto <sup>b</sup>	-	6,48 (4,43;8,53)	-	18,28 (14,83;21,74)	51,59 (45,20;57,99)	86,67 (73,95;99,39)
P feto <sup>b</sup>	-	4,05 (2,80;5,30)	-	10,95 (8,90;12,99)	29,58 (25,22;33,94)	48,63 (39,81;57,44)
MLiq <sup>a</sup>	-	1,18 (0,96;1,40)	-	1,28 (1,13;1,43)	1,39 (1,20;1,58)	1,44 (1,19;1,70)
Ca liq <sup>b</sup>	-	0,02 (0,01;0,03)	-	0,04 (0,03;0,05)	0,07 (0,03;0,11)	0,08 (0,02;0,15)
P liq <sup>b</sup>	-	0,003(0,000;0,005)	-	0,003 (0,002;0,004)	0,003 (0,002;0,004)	0,003 (0,001;0,004)
MUte <sup>b</sup>	0,23 (0,12;0,33)	0,89 (0,76;1,02)	-	1,20 (1,09;1,32)	1,63 (1,49;1,77)	1,90 (1,70;2,09)
Ca ute <sup>b</sup>	0,08 (0,02;0,13)	0,52 (0,39;0,64)	-	0,79 (0,64;0,93)	1,21 (0,97;1,44)	1,49 (1,16;1,83)
P ute <sup>b</sup>	0,03 (0,006;0,1)	1,42 (1,17;1,67)	-	1,62 (1,44;1,80)	1,85 (1,69;2,00)	1,97 (1,77;2,17)

<sup>a</sup>MFeto=massa do feto (kg); MLiq=massa de líquido fetal (kg); MUte=massa de útero + placenta (kg); <sup>b</sup>Cálcio e Fósforo em cada componente, em g.

### 3.4.3 Deposição de minerais no útero gravídico ao longo da gestação

Os gráficos ilustram as estimativas pontuais e os intervalos de confiança das variáveis massa tecidual (em kg) e conteúdo de Ca e P (em g) no útero gravídico de borregas e ovelhas no tempo contínuo da gestação (abscissa) (Figura 1). Os gráficos foram construídos separadamente para borregas (Figuras a, c, d) e ovelhas (Figuras b, d, f), devido à escolha da combinação modelo vs função de variância ser o mesmo para essas variáveis, *i.e.*, Eq (1) e (4) com estimativas dos parâmetros para cada ordem de parto (OP).



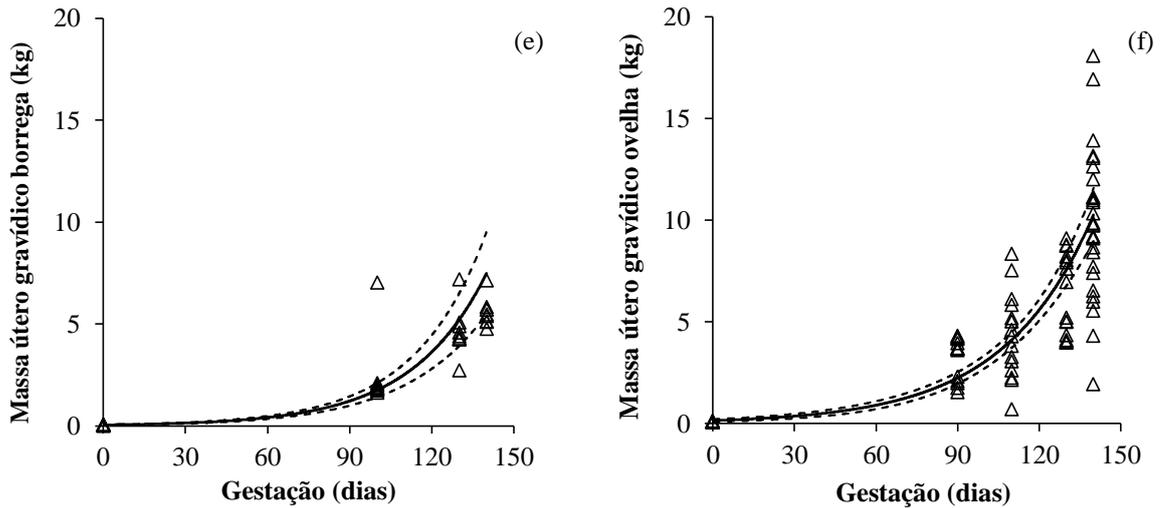


Figura 2. Observado ( $\Delta$ ), predito (linha s3lida), 99% de intervalo de confian3a (linha tracejada)

Nota-se que apesar de todas as vari3veis seguirem a mesma tend3ncia de crescimento exponencial, houve diferen3a nas estimativas entre as categorias borrega e ovelha ( $P < 0,01$ ). As primeiras apresentaram maior dispers3o comparado 3s estimativas para m3ltiplaras. Pontos de inflex3o n3o foram detectados e por isso o modelo Gompertz n3o foi a mais veross3mil das escolhas (Tabela 2).

#### 3.4.4 Reten3o e exig3ncia de minerais na gesta3o

As borregas n3o exibiram diferen3a entre os tempos 130 e 140 dias de gesta3o para Ca e P, sendo que para as ovelhas a reten3o de c3lcio foi diferente para todas as fases (Tabela 9). Por outro lado, a reten3o de f3sforo para as m3ltiplaras diferiu apenas entre gestante e n3o gestante. A reten3o de c3lcio no ter3o final da gesta3o foi maior para prim3paras. Entretanto, as m3ltiplaras apresentaram maior deposi3o de f3sforo nesse mesmo per3odo. N3o foi poss3vel estimar a reten3o de c3lcio para animais n3o gestantes.

Tabela 9. Estimativas de retenção e da exigência diária de cálcio (Ca) e fósforo (P) no útero gravídico ao longo da gestação de borregas e ovelhas

Dias de gestação	Borregas			
	Cálcio		Fósforo	
	Retenção <sup>a</sup>	Exigência <sup>b</sup>	Retenção <sup>a</sup>	Exigência <sup>b</sup>
0	-	-	0,004 (0,002;0,005)	0,01
100	1,92 (1,42;2,42)	3,84	0,11 (0,03;0,19)	0,18
130	9,00 (6,08;11,92)	18,00	0,31 (0,25;0,59)	0,51
140	15,06 (9,90;20,23)	30,12	0,43 (0,01;0,86)	0,72
Ovelhas				
0	-	-	0,01 (0,007;0,02)	0,02
90	0,50 (0,44;0,55)	0,99	0,58 (0,37;0,80)	0,97
110	1,55 (1,32;1,76)	3,09	1,40 (0,79;2,02)	2,34
130	4,81 (4,07;5,56)	9,62	3,38 (1,63;5,13)	5,63
140	8,49 (7,15;9,83)	16,98	5,24 (2,30;8,16)	8,73

<sup>a</sup> retenção diária de Ca ou P no útero gravídico por massa de corpo vazio (g/(dia × kg MCV); <sup>b</sup> exigência de Ca ou P (g/dia) estimada a partir da retenção predita/eficiência (valores de eficiência conforme NRC 2007: 0,5 e 0,6 para Ca e P respectivamente).

### 3.5 Discussão

#### 3.5.1 Seleção de modelo não-linear

Atualmente, o recomendado para seleção de múltiplos modelos não lineares é realizado com uso do critério de informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (SUGIURA, 1978; VIEIRA et al., 2012) em conjunto com algumas funções derivadas, pois desse modo, fornece uma base justa para seleção de múltiplos modelos (BURNHAM e ANDERSON, 2004).

A teoria dos modelos não lineares mistos está entre as técnicas estatísticas mais refinadas para o ajuste de modelos não lineares. Esta técnica possibilita a avaliação simultânea do crescimento do útero gravídico e sua composição de Ca e P ao longo da gestação em ovelhas de grupos diferentes (ordem de parto, número de fetos e manejo nutricional) (Tabela 6). Por essa avaliação o modelo exponencial Eq (1) foi escolhido para todas as variáveis estudadas, o que significa que o comportamento do útero gravídico e seus constituintes ao longo da gestação, principalmente no terço final desta, tende a apresentar um comportamento exponencial, e por isso não foi possível observar ponto de inflexão (Tabela 6). E devido esse fato, o modelo sigmoide de Gompertz, não produziu o melhor ajuste em nenhuma das variáveis estudadas.

As variáveis aqui analisadas não apresentaram fase assintótica, e assim, o modelo exponencial Eq (4) foi o que melhor imitou a variabilidade dos perfis das variáveis estudadas e, dessa forma, resultou em uma melhor descrição do aumento de variância ao longo da gestação.

Em relação ao crescimento fetal, ficou claro que há uma fase de auto aceleração no crescimento no terço final da gestação (Figura 1). Durante a gestação, o nível nutricional tem extrema importância, sobretudo nos últimos 45 dias, quando os tecidos fetais têm maior desenvolvimento (Kadu & Kaikini, 1987). Como não houve registro pós-natal, não foi possível detectar uma possível fase de auto inibição do crescimento iniciada próximo ao nascimento (Brody, 1945).

### **3.5.2. Os minerais no útero gravídico**

A massa bem como a deposição de Ca e P no feto cresceram até 130 dias de gestação nas borregas, o que nos leva a inferir que a partir desse período os animais apenas mantêm a gestação. O útero gravídico nesse momento ocupa maior espaço comprimindo e comprometendo a capacidade de ingestão dos animais. As multíparas, como já alcançaram o peso adulto, conseguem ingerir proporcionalmente maior quantidade de alimento e assim garantir melhores condições para o desenvolvimento fetal, uma vez que é nessa fase que ocorre o maior acúmulo de massa fetal (70-80% a depender de raça – Russel, 1991). Conseqüentemente, cordeiros nascidos de ovelhas adultas provavelmente nascerão com maior peso e melhores condições físicas de crescimento além de apresentar maior resistência a patógenos. Assim, o rebanho terá menor taxa de mortalidade e maior produção de kg de cordeiro desmamado/ovelha.

A massa bem como o conteúdo de Ca e P no líquido fetal parece não ser um fator de peso ao se determinar exigência de minerais para gestação.

O crescimento do útero traduz a condição da categoria animal, uma vez que o útero de borregas cresce durante todo o período gestacional acompanhando assim a curva de crescimento do animal nessa fase. Outro fator que comprova o fato observado é a massa de útero de ovelhas mostrar-se maior às borregas durante todo o período gestacional, o que evidencia que o animal ainda está em crescimento. O acúmulo de Ca foi mais expressivo no útero de borregas, sendo que esse mineral pode estar sendo exigido em maior quantidade por ser o principal responsável pela ativação dos fatores de coagulação que se elevam para níveis acima dos normais nesse momento (Carlin e Alfievic, 2008).

A diferença de massa e composição de minerais no útero gravídico entre categorias (Figura 1) sugere que ao analisar os dados simultaneamente (borrega e ovelha) pode ser que houve perda de informações já que a amplitude da predição dos dados para borregas foi mais elevada. Além disso, os tempos de abate serem em maior número para as múltíparas pode contribuir para menor dispersão dos dados nessa categoria. Entretanto, a melhor maneira de analisar os dados é a forma simultânea.

Como dito anteriormente, o melhor ajuste para as variáveis estudadas foi o do modelo de crescimento exponencial. A concentração de cinzas no útero gravídico eleva-se com o avanço da gestação (Rattray et al., 1974; Grace et al., 1986), devido principalmente ao aumento da massa tecidual do feto. Para que a curva alcançasse o ponto de inflexão seria necessário abater os animais ainda mais próximo à parição, entretanto a possibilidade de ocorrência de parto aumentaria e assim comprometer o experimento.

### **3.5.3 Exigência de minerais na gestação**

Os resultados obtidos nesse estudo evidenciam as lacunas quanto às recomendações de exigências de minerais para ovelhas gestantes preconizadas pelo NRC (2007). As tabelas apresentadas pelo comitê diferem quanto aos requisitos apenas em dois períodos (105 até 133 dias de gestação e 133 aos 147 dias). Contudo, essa divisão foi compatível apenas para borregas (Tabela 9), o que evidencia que a ordem de parto deve ser levada em consideração ao estimar os requisitos por minerais em gestantes.

O NRC (2007) exhibe exigência no terço final da gestação de 4,3 g/dia e 5,1 g/dia de Ca e 2,6 g/dia e 3,9 g/dia de P para ovelha e borrega, respectivamente, sendo uma estimativa muito abaixo da encontrada nesse estudo (Tabela 9). Tal diferença pode ser justificada pelo fato desse comitê estimar as exigências de gestação a partir de composição corporal do feto ao nascimento. Além disso, o NRC (2007) adotou taxas constantes de crescimento de Ca (0,33 g/dia) e P (0,14 g/dia) nos últimos 50 dias de gestação. Na tabela 2 pode-se verificar a variação das taxas ( $k_1$  e  $k_2$ ) ao longo do tempo. O comitê ainda não apresenta informações a respeito da composição em minerais do útero e líquido fetal que devem ser considerados para estimativa de exigência para gestação. É importante lembrar que o tipo animal e condição de clima e alimentação são distintos das condições observadas no Brasil o que pode explicar essa discrepância dos resultados de exigência quando comparados ao NRC (2007). Frente a isso, como ilustrado nesse presente trabalho, as medidas ao longo da gestação parecem ser mais precisas e próximas à realidade.

### 3.6 Conclusões

A avaliação da deposição de Ca e P em útero gravídico de fêmeas ovinas Santa Inês pode ser determinado pela combinação de modelo exponencial com função de variância exponencial.

As exigências de Ca e P são diferentes entre fêmeas ovinas Santa Inês em distintas ordens de parto e variáveis ao longo da gestação.

As exigências de cálcio e fósforo para ovelhas e borregas gestantes Santa Inês ficaram acima do recomendado pelo NRC (2007).

### 3.7 Referências Bibliográficas

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL - ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock: technical review*. London: Agricultural Research Council Working Party, 1980, 351p.

AKAIKE H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 716-723, 1974.

AOAC – *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA, 2000.

ARAÚJO, R.P.; VIEIRA, R.A.M.; ROCHA, N.S. et al. Long-term growth of body, body parts and composition of gain of dairy goat wethers. *Journal of Agricultural Science*, 153, 1321–1340, 2015.

BAIAO, E. A. M.; GERASEEV, L. C.; OLIVEIRA, A. N. Composição corporal e exigências nutricionais de cálcio e fósforo para o ganho em peso de cordeiros. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n.6, p. 1370-1379, 2003.

BARD, Y. *Nonlinear Parameter Estimation*. New York: Academic Press, Inc. 1974.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 26, 211–252, 1964.

BRAITHWAITE, G. D. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation, 1. Calcium. *British Journal Nutrition*, 50, p.711-722, 1983a.

BRAITHWAITE, G. D. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation, 2. Phosphorus. *British Journal Nutrition*, 50, p.723-736, 1983b.

- BRODY, S. *Bioenergetics and Growth*. With Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals. New York: Reinhold Publishing Co, 1945.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods e Research* 33, 261–304, 2004.
- Carlin, A.; Alfirevic, Z. Physiological changes of pregnancy and monitoring. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*, London, v. 22: 801–823, 2008.
- FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. Growth functions and their application in animal science. *Annales de Zootechnie* 45 (Supplement 1), 165–174, 1996.
- GERASEEV, L. C.; PEREZ, J. R. O.; RESENDE, K. T.; SILVA FILHO, J. C.; BONAGURIO, S. Composição corporal e Exigências Nutricionais em Cálcio e Fósforo para o ganho e manutenção de cordeiros Santa Inês dos 15 aos 25 kg de peso vivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n.1, p. 261-268, 2000.
- GERASEEV, L. C.; SANTOS, C. L.; TEIXEIRA, J. C.; BONAGURIO, S. Composição Corporal e Exigências Nutricionais de cálcio e fósforo de cordeiros Santa Inês dos 15 kg aos 35 kg de Peso Vivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n.5, p. 815-822, 2001.
- GONZAGA NETO, S.; SILVA SOBRINHO, A.G.; RESENDE, K.T et al. Composição corporal e exigências nutricionais de proteína e energia para cordeiros Morada Nova. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, p.1- 11, 2005.
- GRACE N. D.; WATLINSON, J. H.; MARTINSON, P. L. Accumulation of minerals by the foetus(es) and conceptus of single- and twin-bearing ewes. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 29: 207-222, 1986.
- KADU, M.; KAIKINI, A. Prenatal development of caprine faetus. *Indian Journal of Animal Science*, 57(9):962-969.1987.
- LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERGER, O. *SAS® for Mixed Models*. Cary, USA: SAS Institute Inc., 2006.
- MATIS, J.H.; HARTLEY, H.O. Stochastic compartmental analysis: model and least squares estimation from time series data. *Biometrics* 27, 77, 1971.
- MOOD, A.M.; GRAYBILL, F.A.; BOES, D.C. *Introduction to the Theory of Statistics*. Tokyo: McGrawHill Kogakusha, LTD, 1974.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of small ruminants*. 2007, 362p.

PINHEIRO, J.C.; BATES, D.M. *Mixed-effects Models in S and S-PLUS*. New York: Springer-Verlag Inc, 2000.

RATTRAY, P. V.; GARRETT, W. N.; EAST, N. E.; HINMAN, N. Growth, development and composition of the ovine conceptus and mammary gland during pregnancy. *Journal of Animal Science*, vol. 38, no. 3, 1974.

RUSSEL, A.J.F. (1991). Nutrition of the pregnant ewe. In : *Sheep and goat practice*. Editor E. Boden. Baillière Tindall (London), 29-39.

SUGIURA, N. Further analysis of the data by Akaike's Information Criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics, Theory and Methods*, 13-26, 1978.

TEIXEIRA, I.A.M.A.; RESENDE, K. T; SILVA, A. M. A.; SILVA SOBRINHO, A. G.; Härter, C.J.; SADER, A. P. O. Mineral requirements for growth of wool and hair lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 42, p. 347-353, 2013.

VIEIRA, R. A. M.; CAMPOS, P. R. S. S.; SILVA, J. F. C. et al. Heterogeneity of the digestible insoluble fiber of selected forages in situ. *Animal Feed Science and Technology*, 154-166, 2012.

VONESH, E.F. *Generalized linear and nonlinear models for correlated data: theory and applications using SAS®*. Cary: SAS Institute Inc, 2012.

## **CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES FUTURAS**

O avanço na análise de dados por seleção de modelos apresenta-se como um importante instrumento aos pesquisadores por permitir um estudo mais elaborado com aplicabilidade, ao garantir o melhor entendimento de sistemas complexos como, em exemplo, a dinâmica de crescimento e deposição de minerais em ovelhas gestantes.

São necessários mais estudos com animais deslanados a respeito de composição corporal de minerais para que possamos identificar a real exigência desses animais e suprir possíveis deficiências encontradas nos sistemas de produção de ovinos nativos.