

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF
SAANEN GOATS**

Marina Elizabeth Barbosa Andrade

Animal scientist

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF
SAANEN GOATS**

Marina Elizabeth Barbosa Andrade

Advisor: Profa. Dra. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

Co-advisor: Dra. Carla Joice Härter

Dissertation submitted to the Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp Jaboticabal campus, as part of the requirements for obtaining the Master degree in Animal Science.

2017

M553g Andrade, Marina Elizabeth Barbosa de
Growth curves of the visceral organs of Saanen goats / Marina
Elizabeth Barbosa de Andrade. -- Jaboticabal, 2017
x, 52 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientadora: Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira
Coorientadora: Carla Joice Härter
Banca examinadora: Rafael Fernandes Leite, Kléber Tomás de
Resende
Bibliografia

1. Estômagos. 2. Fígado. 3. Intestinos. 4. Tecido adiposo
mesentérico. 5. Trato gastrointestinal. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.5:636.3

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF SAANEN GOATS

AUTORA: MARINA ELIZABETH BARBOSA ANDRADE

ORIENTADORA: IZABELLE AUXILIADORA MOLINA DE ALMEIDA TEIXEIRA

COORIENTADORA: CARLA JOICE HÄRTER

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. IZABELLE AUXILIADORA MOLINA DE ALMEIDA TEIXEIRA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pós-doutorando RAFAEL FERNANDES LEITE - VIDEOCONFERÊNCIA
Departamento de Agronomia / Universidade José do Rosário / Alfenas/MG

Prof. Dr. KLEBER TOMAS DE RESENDE
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Jaboticabal, 10 de julho de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARINA ELIZABETH BARBOSA ANDRADE filha de José César Cordeiro de Andrade e Eliana Barbosa Carrijo, nasceu em 3 de abril de 1992, em Araguari, Minas Gerais, Brasil. Em 2010, ingressou na graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, em 2015, graduou-se. Na graduação concentrou seus estudos na área de alimentação e nutrição de ruminantes sob a supervisão do Dr. Gilberto de Lima Macedo Junior. Em 2015, iniciou o mestrado em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. No mestrado trabalhou com curvas de crescimento dos órgãos viscerais de caprinos da raça Saanen sob a supervisão da Dra. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira.

“Mas os que esperam no Senhor
renovarão as forças, subirão com asas
como águias; correrão, e não se
cansarão; caminharão, e não se
fatigarão.” Isaías 40:31

DEDICO

Aos meus pais, Eliana e José César, exemplos de caráter e resiliência, pelo suporte, incentivo, amor incondicional e por lutarem ao meu lado incansavelmente.

Aos meus avós (*in memoria*) João, Teresina e Auristela, e tia Dolores (*in memoria*) pelo amor, cuidado e proteção.

Ao meu irmão Hugo e minha tia Aparecida, por sempre torcerem pela minha vitória, acreditarem na minha capacidade, e pelo auxílio nos momentos difíceis.

Aos meus sobrinhos Davi e Arthur, pela alegria e renovação que suas vidas trouxeram para minha.

Toda minha gratidão e amor por ter vocês em minha vida!

OFEREÇO

A minha querida mãe, por não medir esforços e investir tudo em minha educação e de meu irmão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Pai, obrigada pela vida e por não deixar faltar nada em nenhum momento, por cuidar de cada detalhe, por colocar pessoas maravilhosas em meu caminho, para transformar essa caminhada árdua em algo agradável e gratificante.

Aos meus pais Eliana e César, por todo amor, cuidado e dedicação. Por nunca desistirem da luta apesar de todas as dificuldades, por passarem privações para dar o melhor para seus filhos, por serem exemplos de caráter e perseverança, por compreenderem minhas ausências. Devo tudo a vocês.

Ao meu irmão Hugo, cunhada Márcia, e sobrinhos Davi e Arthur, por serem essa família linda que sempre me apoiou, uma palavra amiga, um sorriso, um abraço, um olhar orgulhoso, que renovaram minhas forças em todos os poucos momentos que pude estar presente fisicamente.

A minha tia Cida, madrastras Leila e Luiza, por cuidarem dos meus pais em minha ausência, pelas orações e ajuda nos momentos difíceis.

Ao meu amor, Ney, pelo companheirismo, por enxugar minhas lágrimas e me segurar nos momentos em que eu me via sem forças. Obrigada por suportar meus estresses e dias difíceis, me abraçar e afirmar que os dias difíceis iriam passar, por fazer de minha luta a sua luta e permanecer sempre ao meu lado. Te amo.

Ao João, Edleusa e toda família Miranda Gonçalves, que sempre me incentivaram nos estudos e passaram muitas fases importantes ao meu lado.

Às minhas madrinhas Nilva e Ana, e a Dona Cecília, por acreditarem neste sonho e sempre torcerem por mim.

Aos meus tios Nivaldo, Vicente, Lazineira e Adelzia e primos Mariana, Fabiano, Elizabeth e Leonardo, pelas orações e por torcerem pela minha vitória.

A minha grande amiga/irmã Raiza que passou todos os momentos ao meu lado. Deus não poderia ter escolhido uma companheira melhor para dividir alegrias, angústias, casa, laboratório, balada, academia, inglês, caixa de chocolate, cachorra, livros, entre outras coisas. Ao Lucas, por trazer alegria a vida da Raiza e conseqüentemente a minha, também pelo apoio e torcida.

Ao meu grande mestre e exemplo Prof. Dr. Gilberto, não tenho palavras para agradecer tudo o que ele fez por mim, o amor que ele tem pelo que faz é contagiante, e levo isso comigo sempre. Agradeço todas oportunidades, desenvolvimento pessoal e profissional que me proporcionou, como também a todos do grupo GEPNutRi.

A minha orientadora Isabelle, pela paciência, confiança, ensinamentos, oportunidades e por acreditar em minha capacidade. Por abrir as portas de sua casa e oferecer o carinho de sua família a nós.

A minha coorientadora e amiga Carla, pela paciência, persistência, carinho, preocupação e cuidado. Não tem como agradecer tudo que ela fez por mim, sempre solícita, sendo meu alicerce e exemplo de resiliência em vários momentos. Ao Carlos, pela amizade e apoio, por me “adotar” juntamente com a Carla. Sempre estavam comigo nos momentos difíceis, uma grande amizade que levarei por toda vida.

A minha banca, composta pela Profa. Isabelle, Prof. Kleber e Prof. Rafael, por aceitarem essa missão e pelas inúmeras contribuições, que foram essenciais para a melhoria desse trabalho.

A Amélia, por todo apoio no início do mestrado e pela contribuição no projeto inicial que originou a dissertação.

Ao meu grupo Cabritolândia, Kléber, Isabelle, Márcia, Bruno, José Maurício, Thiago, Rafael, Fernanda, Nhayandra, Carla, Anaiane, Julián, Amélia, Ana Rebeca, Raiza, Marcelo, Leandro, Paola, Naiara, Letícia, e Carol, eu aprendi muito com cada um de vocês e vou levá-los sempre em meu coração. Cabritolândia, obrigada por me acolher com tanto carinho e ser uma família para mim. Eu não teria conseguido sem a ajuda de vocês.

As “donas da casa”, minha segunda família, primeiramente a Claudênia e a Flávia por me acolherem com tanto carinho e cuidar, apoiar e estar comigo em todos os momentos. Posteriormente, Raiza, Maria Clara, Stefany, Miria e todos os estagiários que aqui passaram, pela palavra amiga, compreensão e todos os momentos que passamos juntas. E as nossas cachorras Shakira e Clara, pela alegria que trouxeram a casa e pela companhia em dias ruins.

As estrangeiras Susanna e Irene, pelo privilégio de conviver com elas, amizade e pela troca cultural que compartilhamos.

A minha amiga/irmã Fabíola, ao André, Ana e Matheus, por me acolherem sempre, pela preocupação, apoio, torcida e mesmo de longe se fazem presentes em minha vida em todas as etapas.

As minhas amigas de graduação Paola, Bruna, Jeane, Izabel, Érica e Miriã, por sempre estarem ao meu lado, me dando forças para continuar, me incentivando e torcendo pela minha vitória. Amo vocês!

A minha amiga Diana, pela amizade e palavras de conforto, por sempre ouvir minhas histórias malucas após as aulas de inglês e por sempre acreditar em meu potencial.

A Edilene e toda equipe Field, pela amizade, apoio, troca de conhecimento, e cuidado, que foram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos patrões da minha mãe, Weverton e Elisângela, pela torcida e apoio em toda essa caminhada, por não nos deixar faltar nada.

A equipe Salgar, que me acolheu tão bem em momentos difíceis, foi uma grande experiência e prazer conviver com todos.

A Unesp Jaboticabal, juntamente com a cidade de Jaboticabal, que me acolheram de uma forma aconchegante e me deram um lar.

A Capes pela bolsa concedida, sem esse apoio financeiro não seria possível realizar esse sonho da maneira com que foi realizado.

A todos que diretamente ou indiretamente auxiliaram e torceram para que eu conseguisse vencer mais essa etapa, minha gratidão eterna. Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
LISTAS DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	ix
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	2
Crescimento animal	2
Crescimento dos órgãos do sistema visceral.....	4
Influência do sexo no crescimento dos órgãos do sistema visceral	6
Modelos utilizados para descrever o crescimento	8
OBJETIVO.....	12
REFERÊNCIAS.....	12
CHAPTER 2. SEX AFFECTS GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF SAANEN GOATS.....	19
SUMMARY.....	19
INTRODUCTION.....	20
MATERIALS AND METHODS.....	20
Dataset.....	21
Statistical analyses and parameter estimation	22
RESULTS.....	25
Model evaluation and variance modeling	25
BW and organs growth.....	28
Stomachs growth	32
GIT growth	35

DISCUSSION.....	38
CONCLUSION.....	41
ACKNOWLEDGMENTS.....	42
REFERENCES.....	42
APPENDIX 1.....	47
APPENDIX 2.....	49
APPENDIX 3.....	50
APPENDIX 4.....	51
APPENDIX 5.....	52

CURVAS DE CRESCIMENTO DOS ÓRGÃOS DO SISTEMA VISCERAL DE CAPRINOS SAANEN

RESUMO – Este trabalho foi realizado utilizando informações de 7 estudos, em que foram ajustadas curvas de crescimento ao desenvolvimento dos órgãos do sistema visceral de fêmeas, machos castrados e machos inteiros da raça Saanen de 0,5 a 19,5 meses de idade. Inicialmente, foram avaliados oito modelos: Regressão linear simples; Quadrático; Monomolecular; Brody; Von Bertalanffy; Logística; Gompertz; e Richards. Os dados dos órgãos viscerais (fígado, pâncreas, baço, rúmen-retículo, omaso, abomaso, intestino delgado e intestino grosso) e tecido adiposo mesentérico (TAM), foram ajustados nos modelos usando o procedimento NLMIXED do SAS. O melhor modelo ajustado foi escolhido com base no Critério de Informações Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) e nos coeficientes de correlação de concordância (CCC). Após a escolha do modelo que melhor ajustou a curva de crescimento dos órgãos viscerais avaliados, modelamos a variância buscando um melhor ajuste. Os parâmetros dos modelos para cada sexo foram comparados utilizando o comando CONTRAST ($p < 0,10$). Em geral, o modelo que melhor descreveu o crescimento de órgãos do sistema visceral foi o logístico (menor AICc e maior CCC). Quando os órgãos foram expressos em gramas, o sexo não influenciou os parâmetros das equações para predição do crescimento dos órgãos avaliados ($p > 0,10$), exceto o MAT ($p < 0,02$); em que as fêmeas apresentaram menor taxa de deposição comparada aos machos inteiros e castrados ($0,318 \pm 0,034$ vs $0,659 \pm 0,062$), e um ponto de inflexão superior ao dos machos inteiros e castrados (7,7 vs 3,7 meses). No entanto, essa diferença entre os sexos não é encontrada quando o MAT é expresso em % ao peso do corpo vazio (PCV). Independentemente do sexo, no início do crescimento, o fígado representou $2,75 \pm 0,113$ % do PCV, cresceu (g) a uma taxa máxima de $0,531 \pm 0,062$, e o ponto de inflexão de sua curva ocorreu em 1,7 meses. O trato gastrointestinal (TGI) representou $9,14 \pm 0,493$ % PCV, e à medida que os animais cresceram o TGI diminuiu sua porcentagem em relação ao PCV a uma taxa constante de $0,135 \pm 0,046$ %. Considerando o período avaliado, em geral, o rúmen-retículo e o intestino grosso aumentaram sua porcentagem em relação ao PCV e TGI, enquanto o abomaso e o

intestino delgado diminuíram sua porcentagem em relação ao PCV e TGI, à medida que o animal crescia. O rúmen-retículo e o intestino grosso, que estão diretamente relacionados à digestão de alimentos sólidos, apresentaram maiores taxas de crescimento nos dois primeiros meses de vida. Os resultados evidenciaram que o sexo não afeta o crescimento de órgãos do sistema visceral (g), exceto para MAT, porém, quando olhamos em % PCV alguns órgãos mostram diferenças entre os sexos, como o fígado, abomaso, intestino delgado, intestino grosso e intestinos. O conhecimento da curva de crescimento dos órgãos viscerais pode ser muito útil para melhorar a compreensão de seu impacto sobre as exigências nutricionais desses animais, e ser utilizado para otimizar ou desenvolver um plano nutricional adequado para cada fase de crescimento, como também auxiliar os produtores a desenvolver planos estratégicos em um rebanho de caprinos, como a melhor idade para desmame e abate desses animais.

Palavras-chave: estômagos, fígado, intestinos, tecido adiposo mesentérico, trato gastrointestinal

GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF SAANEN GOATS

ABSTRACT – This work was performed gathering information of 7 studies, in which growth curves were fitted to the visceral organs of female, intact male, and castrated male Saanen goats from 0.5 to 19.5 months old. Initially, eight models were assessed: Monomolecular; Simple linear regression; Quadratic; Monomolecular; Brody; Von Bertalanffy; Logistics; Gompertz; and Richards. Data of the visceral organs (liver, pancreas, spleen, rumen-reticulum, omasum, abomasum, small intestine, and large intestine) and mesenteric adipose tissue (MAT) were fitted in the models using NLMIXED procedure of SAS. The best fitted model was choosing based on the Akaike Corrected Information Criterion for small samples (AICc) and values and the concordance correlation coefficient (CCC). After choosing the model that best fitted the growth curve of the evaluated visceral organs, we modelled the variance seeking a better fit. Parameters of the models for each sex were compared using the CONTRAST statement ($p < 0.10$). Overall, the model that best described visceral organ growth was the logistic (i.e., lower AICc and higher CCC). When organs were expressed in grams, the sex did not influence the parameters of equations to predict the growth of the evaluated organs ($p > 0.10$), except for TAM ($p < 0.02$); females presented a lower deposition rate compared to intact males and castrated males (0.318 ± 0.034 vs 0.659 ± 0.062), and a inflection point higher than intact males and castrated males (7.65 vs 3.69 months). However, this difference between the sexes is not found when TAM is expressed in % to empty body weight (EBW). Irrespective of sex, at the beginning of growth, liver stood for 2.75 ± 0.113 % of EBW, grew (g) at a maximum rate of 0.531 ± 0.062 , and its inflection point of the curve occurred at 1.7 months. The gastrointestinal tract (GIT) stood for 9.14 ± 0.493 % EBW, and as the goats grew the GIT decreased its percentage in relation to the EBW at a constant rate of 0.135 ± 0.046 %. Considering the evaluated period, in general rumen-reticulum and large intestine increased their percentage in relation to EBW and GIT, whereas abomasum and small intestine decreased their percentage in relation to EBW and GIT, as animal grew. The rumen-reticulum and large intestine, which are directly related to the digestion of solid foods, presented higher growth rates in the first two months of life. The results highlighted that sex does not affect the growth of visceral organs (g), except for TAM. However, when

we look at % EBW, some organs show differences between the sexes, such as the liver, abomasum, small intestine, large intestine and Intestines. Knowledge of the growth curve of the visceral organs can be very useful in improving the understanding of their impact on the nutritional requirements of these animals and can be used to optimize or develop a nutritional plan suitable for each growth phase, but also to help producers develop strategic plans for a herd of goats, such as the best age for weaning and slaughtering these animals.

Keywords: intestines, gastrointestinal tract, liver, mesenteric adipose tissue, stomachs

LISTAS DE ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1

AICc	Critério de informações Akaike corrigido para pequenas amostras
CCC	Coeficiente de correlação de concordância
PC	Peso corporal
PCV	Peso do corpo vazio
TAM	Tecido adiposo mesentérico
TGI	Trato gastrointestinal

CAPÍTULO 2

AICc	Akaike corrected information criterion for small samples
BW	Body weight
CCC	Concordance correlation coefficient
CM	Castrated male
EBW	Empty body weight
EBWM	Empty body weight metabolic
F	Female
GIT	Gastrointestinal tract
IM	Intact male
IN	Intestines
IP	Inflection point
LI	Large intestine
MAT	Mesenteric adipose tissue
SI	Small intestine
STO	Stomachs

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 Curva sigmóide de crescimento animal (Adaptado de Owens, 1993).....4

Figura 2 Representação gráfica dos modelos regressão linear simples (Casas et al., 2007), quadrático (Thornley e France, 2007), monomolecular (Thornley e France, 2007), Brody (coutinho, 2014), Von Bertalanffy (Thornley e France, 2007), logístico (Thornley e France, 2007), Gompertz (Thornley e France, 2007) e Richards (Tomkins et al., 2014).....11

CAPÍTULO 2

Figure 1 Body weight, empty body weight in kilograms (Kg), visceral organs and gastrointestinal tract in kilograms (Kg) and proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes.....30

Figure 2 Liver, pancreas, spleen and mesenteric adipose tissue in grams (g) and proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes..... 31

Figure 3 Rumen-Reticulum, omasum and abomasum in grams (g), proportion of empty body weight (% EBW), and proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of different sexes.....34

Figure 4 Small intestine and large intestine in grams (g), proportion of empty body weight (% EBW), and proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of different sexes.....37

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 Funções utilizadas para descrever crescimento.....	8
---	---

CAPÍTULO 2

Table 1 Summary characteristics of the seven studies used the dataset.....	21
Table 2 Summary of statistics related to organs in grams (g) of Saanen goats used in this study.....	22
Table 3 Akaike information criterion corrected for small samples (AICc), concordance correlation coefficient (CCC), precision, and accuracy obtained with the models fitting growth of visceral organs of Saanen goats (g).....	26
Table 4 Akaike information criterion corrected for small samples (AICc), concordance correlation coefficient (CCC), precision, and accuracy obtained with the models fitting growth of visceral organs of Saanen goats (% EBW, % STO, % IN and % GIT).....	27
Table 5 Model that best fit body weight and organ growth in grams (g) and in proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes.....	29
Table 6 Model that best fit the stomachs growth in grams (g), in proportion of empty body weight (% EBW), in proportion of stomachs (% STO), in proportion of intestines (% IN), and in proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of according to age (months).....	33
Table 7 Model that best fit intestine organs growth in grams (g), in proportion of empty body weight (% EBW), in proportion of stomachs (% STO), in proportion of intestines (% IN), and in proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of according to age (months).....	36
Table A 1 Summary of statistics related to organs in grams (g) of Saanen goats used in this study.....	47
Table A 2 Comparison of models for predicting growth of visceral organs (g) of Saanen goats.....	49
Table A 3 Comparison of models for predicting growth of visceral organs (% EBW, or % STO, or % IN, or % GIT) of Saanen goats.....	50
Table A 4 Comparison to choose the best modeled variance model (in bold) of model choose for predicting growth of visceral organs (g) of Saanen goats using Akaike information criterion corrected for small samples (smaller the better).....	51
Table A 5 Comparison to choose the best modeled variance model (in bold) of model choose for predicting growth of visceral organs (% EBW, or % STO, or % IN, or % GIT) of Saanen goats using Akaike information criterion corrected for small samples (smaller the better).....	52

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 1 é uma revisão da literatura sobre o crescimento de órgãos do sistema visceral de caprinos da raça Saanen. Foi escrito seguindo as diretrizes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Unesp, Campus Jaboticabal.

No Capítulo 2, avaliamos o efeito do sexo nas curvas de crescimento dos órgãos do sistema visceral de caprinos da raça Saanen. Este capítulo foi escrito seguindo as diretrizes do Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, exceto pelo estilo da letra, espaços entre linhas e posição das tabelas.

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A importância da caprinocultura no cenário mundial cresce consideravelmente, devido ao aumento da demanda por produtos derivados de caprinos. Em consequência, a busca por conhecimentos e tecnologias que contribuam para a eficiência dessas atividades também é crescente.

Em 2014 o rebanho mundial de caprinos era da ordem de 1,06 bilhões de cabeça (FAO, 2016). Os caprinos estão distribuídos por todos os continentes do planeta. No entanto, percebe-se uma maior concentração de caprinos nos países em desenvolvimento. O rebanho nacional de caprinos, em 2014, alcançou 8,5 milhões de cabeças, sendo ranqueado em 22º maior produtor mundial (FAO, 2016). Destes, a região nordeste brasileira abriga 91,7% do rebanho, a região Sudeste conta com 2,3%, e juntas, são responsáveis por 94% da produção de leite caprino no país, a qual estima-se que seja da ordem de 35.740.188 litros/ano (IBGE, 2012).

A raça Saanen, uma das raças caprina leiteira mais difundida mundialmente, é originária da Suíça, do Vale de Saanen, nos cantões de Berna e Appenzell, destaca-se pela sua alta produção leiteira. No Brasil a produção diária de leite de cabras da raça Saanen varia de 2,5 a 4,9 kg por dia no pico da lactação, com teor de gordura variando de 3,0 a 3,5%. Além disso, as fêmeas desta raça apresentam alta persistência leiteira, com período de lactação de 8 a 10 meses (PEREIRA et al., 2011).

Dessa forma, mais estudos vêm sendo realizados com caprinos em diferentes áreas do conhecimento. No entanto, estudos explorando curvas de crescimento desses animais ainda são incipientes, principalmente no tocante aos órgãos. Os estudos sobre as curvas de crescimento de animais de produção têm sido amplamente utilizados para avaliar como o peso corporal (PC) e outras características de interesse (deposição de gordura, tamanho do órgão, etc.) se desenvolvem ao longo do tempo e em relação ao ambiente, dieta, genótipo e outros fatores (REGADAS FILHO, 2014). O entendimento de como se dá o crescimento é uma etapa importante para a elaboração de modelos que predizem as exigências nutricionais dos animais, como também os fatores que afetam o desempenho destes (GOUS et al., 1999).

O crescimento animal envolve alterações dinâmicas em vários órgãos e tecidos à medida que o animal cresce. Do início da vida animal até atingir sua puberdade, as taxas de ganho em massa são maiores, principalmente devido à deposição dos tecidos ósseo e muscular (OWENS et al., 1993). À medida que a maturidade se aproxima, ocorre uma alteração na prioridade de deposição tecidual favorecendo a deposição de gordura (DOUMIT E MERKEL, 2005). Essa mudança na composição corporal pode influenciar atributos alimentares e de crescimento dos caprinos (i.e., ingestão de matéria seca, taxas de ganho de peso, eficiência alimentar, eficiência de utilização de nutrientes e energia, até as exigências nutricionais de caprinos), e, por conseguinte, a estratégia de alimentação em uma criação (RESENDE et al., 2008). O sexo do animal também pode determinar diferenças na composição corporal e exigências nutricionais entre fêmeas, machos castrados e machos inteiros, devido ao efeito dos hormônios sexuais (HAFEZ E HAFEZ, 2004; SAHLU et al., 2004). Além disso, grande parte das exigências de manutenção e ganho dos ruminantes é representada pelo sistema visceral, que demanda em torno de 50% de toda a energia gasta pelo animal (HUNTINGTON, 1990; SEAL E REYNOLDS, 1993). Sendo assim, alterações no tamanho dos órgãos viscerais podem ocorrer naturalmente com o crescimento dos tecidos corporais, e também de forma diferenciada em fêmeas, machos castrados e machos inteiros (OWENS et al., 1995; TEDESCHI et al., 2002), o que torna importante o conhecimento da curva de crescimento desses órgãos nos diferentes sexos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Crescimento Animal

O crescimento animal caracteriza-se pelo aumento da massa dos tecidos do corpo, seja pela produção de novas células (hiperplasia) ou pelo aumento das células já existentes (hipertrofia), sendo que a taxa de crescimento do animal pode ser obtida a partir da diferença entre os processos anabólicos e catabólicos teciduais (LAWRENCE e FOWLER, 2002). No início da vida do animal a taxa anabólica é maior que a catabólica, resultando no crescimento dos tecidos, com o avançar da idade a relação entre essas taxas tende a zero, isto é, a velocidade de crescimento dos tecidos diminuem (OWENS et al., 1993). De acordo com Berg e Butterfield (1976), o

crescimento dos tecidos não ocorre de maneira isométrica, cada tecido possui um perfil de crescimento diferente dependendo da fase de desenvolvimento do animal. O tecido ósseo se desenvolve mais precocemente, seguido do muscular e, por último, o tecido adiposo, sendo essa dinâmica de crescimento descrita por um padrão em forma sigmoidal.

A curva sigmóide (Figura 1) é composta pela fase pré-púberes, de auto-aceleração e pela fase auto-inibidora pós-púberes. Entre a concepção e a puberdade (de “a” até “c”), a taxa crescimento é elevada e positiva, chegando ao máximo no ponto de inflexão da curva. Após a puberdade, inicia-se a fase de crescimento desacelerado, isto é a taxa de crescimento é inibida por diversos fatores. Depois dessa fase regressiva, o animal atinge a fase de maturidade fisiológica, em que a curva atinge o platô, tendo o crescimento muito lento ou praticamente inexistente dos tecidos (OWENS et al., 1993). As razões para a desaceleração pós-púberes não são bem compreendidas, alguns estudos com cultura de células musculares sugerem que alguns fatores inibidores como, espaço, fonte de nutrientes, fatores hormonais, limitam a divisão celular. Outros autores especularam que a desaceleração do crescimento é devida simplesmente à ingestão reduzida de energia acima da manutenção, entretanto em trabalhos com alimentação forçada, espera-se um aumento na massa corporal magra dos animais em maturação, no entanto os nutrientes em excesso são convertidos em lipídios, excretados ou catabolizados, indicando que outros fatores além do fornecimento de nutrientes atuam na inibição de deposição protéica (OWENS et al., 1993). Hammond (1932), investigando as ondas de crescimento em animais, concluiu que existe tendência das extremidades corporais completarem seus ciclos de crescimentos mais precocemente que as regiões proximais e distais, o que ficou conhecido como crescimento centrípeto.

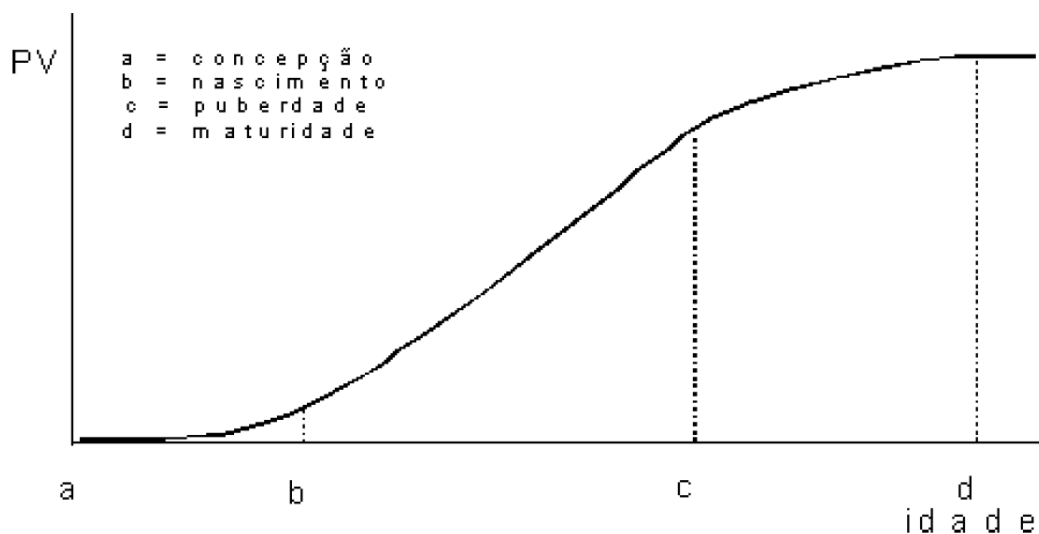


Figura 1. Curva sigmóide de crescimento animal (Adaptado de Owens, 1993).

Em estudo conduzido com cabritos F1 Boer x Saanen em crescimento (5 a 25 Kg de PC), alimentados em três níveis nutricionais (*ad libitum*, 30% e 60% de restrição em relação ao consumo do *ad libitum*), observou-se que em termos proporcionais ao PCV (peso do corpo vazio), o TGI (trato gastrointestinal) acompanhou o crescimento do corpo independentemente da quantidade de nutrientes oferecidos na dieta (SALIN, 2003). Esses animais apresentaram crescimento dos componentes do TGI alométrico isogônico (igual ao corpo). Esse resultado também foi encontrado por Yáñez (2002) em estudo com cabritos Saanen abatidos em várias fases de crescimento e submetidos aos mesmos níveis nutricionais.

O crescimento animal está diretamente relacionado com o desenvolvimento dos órgãos, sendo que a taxa de desenvolvimento destes varia de acordo com a função que os mesmos exercem no organismo em determinada fase de crescimento do animal.

2.2 Crescimento dos órgãos do sistema visceral

O sistema visceral é representado pelo sistema portal mais o fígado. O sistema portal, por sua vez, é representado pelo trato gastrintestinal (rúmen, retículo, omaso, abomaso e intestinos), pâncreas, baço e tecido adiposo mesentérico (KOZLOSKI, 2011). Esses órgãos, por necessidade funcional, estão localizados anatomicamente de

forma a ter acesso aos nutrientes absorvidos antes dos tecidos periféricos. As funções exercidas por este conjunto de órgãos, as quais englobam grandemente atividades envolvidas nas exigências de manutenção, tem custo energético e proteico significativo e variável, seja pelas proporções e tipos de substâncias que são metabolizadas pelos tecidos que os compõem, seja pelas reações envolvidas, como oxidação para obtenção de energia, transformação ou síntese de outros compostos (HUNTINGTON E REYNOLDS, 1987; ATTAIX et al., 1988; ATTAIX E RÉMOND, 2005; LINDSAY E REYNOLDS, 2005). Mesmo representando apenas cerca de 10% do PC, os órgãos do sistema visceral consomem em suas atividades aproximadamente 50% de toda a energia gasta pelo animal (HUNTINGTON, 1990; SEAL E REYNOLDS, 1993).

As variações no gasto de energia dos órgãos que compõe o sistema visceral podem estar relacionadas às alterações no tamanho desses órgãos que podem ocorrer naturalmente com o crescimento dos tecidos corporais, como por exemplo pelo aumento da idade e peso dos animais.

As necessidades líquidas de proteína ou energia para o crescimento são definidas com base no conteúdo do tecido depositado (NRC, 2000), com isso o gasto de energia e proteína é diferenciado nos diferentes tecidos, como o tecido muscular, o tecido adiposo e os órgãos (GILL et al., 1989).

Na maioria dos animais em desenvolvimento, cada órgão mostra um crescimento e proliferação celular característico, e cessa o crescimento em determinado tamanho. Argumenta-se que fatores intrínsecos e extrínsecos, como hormônios, fatores de crescimento que se originam fora do órgão alvo, e interações de células específicas, controlam o crescimento de órgãos e o tamanho final dos mesmos, e que pode haver interações importantes entre os dois tipos de controle durante o desenvolvimento (BRYANT E SIMPSON, 1984).

Os estômagos dos ruminantes quando jovens apresenta-se de forma diferente à fase adulta, ele passa por período de transição até completo desenvolvimento dos pré-estômagos, sendo que estes são pequenos e não funcionais ao nascimento, ao contrário do abomaso que é atuante nas funções digestivas. A medida que o animal cresce, associado com a mudança no tipo de alimento consumido, e juntamente com o estabelecimento de microorganismos no rúmen, esse animal passa a ser considerado um ruminante funcional. Em cabritos, essa fase ocorre por volta da 3ª ou 4ª semana de

vida e, próximo da 8ª semana, os compartimentos gástricos atingem suas proporções adultas relativas, sendo que o desenvolvimento perdura com o crescimento corporal até quando o animal atinge sua maturidade (CHURCH, 1988).

Pereira Filho (2001) trabalhando com caprinos F1 Boer x Saanen, com 5 e 10 Kg de PC, não encontraram diferenças nas medidas relativas dos intestinos delgado e grosso, porém o rúmen, retículo e o omaso aumentaram e o abomaso diminuiu significativamente com o aumento do PC, indicando o início da fase de transição de não ruminante para ruminante.

Salin (2003) em estudo com cabritos F1 Boer x Saanen em crescimento, relatou que o crescimento dos animais influenciou diretamente no aumento do peso dos componentes do TGI, devido esses animais estarem em considerável desenvolvimento corporal e não terem atingido sua maturidade fisiológica na fase avaliada. Almeida et al. (2016), trabalhando com caprinos Saanen em crescimento, estimaram o PCV a maturidade de 26, 34,9 e 42,6 kg, para fêmeas, machos castrados e machos inteiros, respectivamente, indicando que as fêmeas Saanen atingem maturidade mais cedo do que os machos.

Diversos fatores podem afetar o padrão de crescimento dos tecidos e a composição corporal em determinada fase da vida do animal como por exemplo, PC, sexo, genótipo e plano de nutrição, culminando em alterações dinâmicas em vários órgãos à medida que o animal cresce fazendo que estes tenham que sofrer adaptações segundo as necessidades fisiológicas do animal. Além disso, saber como se dá crescimento dos órgãos do sistema visceral é o primeiro passo para entender o custo energético de cada órgão dentro de cada fase de crescimento desse animal.

2.3 Influência do sexo no crescimento dos órgãos do sistema visceral

O sexo do animal pode determinar diferenças de desenvolvimento entre fêmeas, machos inteiros e machos castrados. Devido ao efeito dos hormônios androgênicos, os machos inteiros apresentam desenvolvimento mais pronunciado dos grupos musculares craniais em comparação as fêmeas ou machos castrados (BERG E BUTTERFIELD, 1976), esta ação hormonal afeta diretamente na prioridade de deposição tecidual entre os diferentes sexos, consequentemente, estes apresentam

diferenças na composição corporal e exigências nutricionais (HAFEZ E HAFEZ, 2004; SAHLU et al., 2004; SOUZA et al., 2017).

A castração é uma técnica muito utilizada em animais de produção, por meio da qual a concentração de vários hormônios sexuais é alterada, e cujo objetivo é auxiliar na obtenção de lotes de animais mais uniformes e no acabamento da carcaça. Também é realizada para facilitar o manejo dos machos, que se tornam mais dóceis, bem como diminuir o forte odor provocado pelas glândulas sexuais, característico dos animais inteiros, o que prejudica a comercialização da carne (BRAGA et al., 2003).

O hormônio testosterona, existente em machos em uma quantidade maior, determina carcaças mais magras e musculosas nos machos inteiros comparado com as fêmeas (JACOBS et al., 1972). O hormônio do crescimento, um regulador de crescimento extrínseco, juntamente com a insulina, hormônio da tireóide e hormônios sexuais, desempenha papel dominante em influenciar o crescimento dos tecidos em mamíferos em crescimento (BRYANT ESIMPSON, 1984).

Almeida (2015) trabalhando com caprinos entre 30 e 45 kg de PC, encontrou exigências nutricionais diferentes para fêmeas, machos castrados e machos inteiros e isso se deve aos hormônios gonadais circulantes que influenciam o *turnover* proteico, e conseqüentemente a composição corporal e partição de nutrientes. Além da deposição muscular, os hormônios também interferem na deposição de gordura. A cavidade abdominal dos caprinos compõe grande parte do depósito de gordura, do qual 50 a 60% da gordura total encontram-se entre o abdômen e as vísceras (MADRUGA et al., 2000).

Pouco ainda se sabe sobre a forma como as exigências nutricionais são demandadas pelos órgãos ao longo do crescimento e como eles podem afetar essas exigências. Nesse contexto, espera-se que o crescimento animal e dos órgãos do sistema visceral apresentem-se de maneira diferenciada entre os sexos, o que torna relevante elucidar de que forma o sexo influencia na curva de crescimento dos órgãos do sistema visceral como um todo, e em qual magnitude cada órgão é atingido.

2.4 Modelos utilizados para descrever o crescimento

O entendimento de como se dá o crescimento é uma etapa importante para a elaboração de modelos que predizem as exigências nutricionais dos animais, como também os fatores que afetam o desempenho destes (GOUS et al., 1999). Equações matemáticas podem ser desenvolvidas para caracterizar o crescimento de espécies individuais, órgãos ou tecidos (OWENS, 1993). Diversos autores utilizam modelos não lineares para descrever curvas de crescimento (ALMQUIST, 1953; CURNOW, 1973; WILSON, 1977; MERGER, 1992; PESTI et al., 2009; REGADAS FILHO et al., 2014; ARAUJO et al., 2015). Dos inúmeros modelos matemáticos não lineares existente, os modelos Linear, Quadrático, Monomolecular, Brody, Von Bertalanffy, Logística, Gompertz, e Richards são os mais utilizados na literatura para descrever o crescimento dos animais (Tabela 1).

Tabela 1. Funções utilizadas para descrever crescimento.

Modelo	Função
1. Regressão Linear Simples	$\hat{y} = a + bx$
2. Quadrático	$\hat{y} = a + bx + cx^2$
3. Monomolecular	$\hat{y} = A (1 - e^{-Cx})$
4. Brody	$\hat{y} = A (1 - B e^{-Cx})$
5. Von Bertalanffy	$\hat{y} = A (1 - B e^{-Cx})^3$
6. Logística	$\hat{y} = A / (1 + B e^{-Cx})$
7. Gompertz	$\hat{y} = A e^{-B e^{-Cx}}$
8. Richards	$\hat{y} = A (1 - B e^{-Cx})^M$

"a" é a constante de regressão; "b" é o coeficiente de regressão; "c" é um coeficiente constante; "A" é o peso assintótico do órgão; "B" é a constante da integração; "e" é a base do logaritmo natural; "C" é a taxa de crescimento em relação ao peso máximo; e "M" é a constante que determina a relação PC final quando ocorre o ponto de inflexão (apenas no modelo Richards).

A regressão linear simples (Modelo 1; Figura 2) consiste na verificação da existência de uma relação funcional entre uma variável dependente (y) com uma ou mais variáveis quantitativas independentes (x).

O modelo quadrático (Modelo 2; Figura 2) é um modelo polinomial de grau dois, isto é, tem como termo de maior grau um polinômio do segundo grau (x^2). A definição "c diferente de zero" é o que caracteriza o modelo de segundo grau, visto que a incógnita x^2 é diretamente multiplicada pelo parâmetro "c", e, portanto se "c" fosse igual a zero, anularia o x^2 , e assim o modelo passaria a ser de 1º grau. O modelo quadrático foi publicada em "La Géométrie" de Descartes, em 1637 citado por Trovon (2012). Nessa obra, pela primeira vez, o autor utiliza as primeiras letras do alfabeto "a, b, c, ..." para representar constantes e as últimas "x, y, z, u, ..." para representar variáveis e incógnitas (TROVON, 2012).

O modelo monomolecular (MITSCHERLICH, 1909; Modelo 3; Figura 2) foi desenvolvido como uma forma da lei de rendimentos decrescentes para descrever o PC de um animal em função do seu consumo alimentar (FRANCE et al., 1996). Este modelo descreve o progresso de uma reação de primeira ordem, simples e irreversível (KEBRAB et al., 2007) isto é, a taxa de crescimento diminui continuamente e não há ponto de inflexão (FRANCE et al., 1996, RAO KOYA E GOSHU, 2013).

O modelo de Brody (BRODY, 1945; Modelo 4; Figura 2) usou a monomolecular em conjunto com a exponencial para explicar padrões de crescimento ao longo do tempo. Ele descreve o crescimento como "auto-acelerado" (exponencial) antes e "auto-inibidor" (monomolecular) após o tempo t' , idade da puberdade ou fase de auto-desaceleração do crescimento. Assim, o modelo de Brody descreve o comportamento sigmoidal, mas com uma descontinuidade no ponto de inflexão (FRANCE et al., 1996; ECHEVERRI, 2010). Esse modelo considera que as taxas de crescimento diminuem à medida que aumenta o peso e a idade. Apesar disto, seu uso não foi restrito pela fixação dos valores iniciais e a maioria dos autores que o utilizam considera o nascimento como o ponto de inflexão, podendo o modelo ser utilizado para descrever todo o crescimento pós-natal (ECHEVERRI, 2010). Nesse modelo o parâmetro C assume o valor de um (1), e assim, o ponto de inflexão coincide com o nascimento, resultando em uma curva não sigmóide.

O modelo Von Bertalanffy (VON BERTALANFFY, 1957; Modelo 5; Figura 2) parte do pressuposto que a taxa de crescimento (incremento do tamanho por unidade de tempo), decresce linearmente à medida que o tamanho aumenta (BORGES, 2008). As pressuposições são: o substrato não é limitante; o crescimento é a diferença entre

os processos de anabolismo e catabolismo; o anabolismo é alometricamente relacionado ao peso e o catabolismo é linearmente relacionado ao peso (THORNLEY E FRANCE, 2007).

O modelo Logístico (VERHULST, 1838; Modelo 6; Figura 2) é uma curva sigmóide e simétrica em relação ao ponto de inflexão. Segundo Borges (2008), a característica fundamental abrangida pelo modelo Logístico de crescimento é que a taxa de crescimento relativa decresce linearmente como função do tempo (quando o órgão atinge a metade do tamanho máximo assintótico), a velocidade do crescimento atinge o seu valor máximo e decresce desse ponto tendendo para zero. O modelo apresenta mudança de concavidade no ponto de inflexão, e é neste ponto que o crescimento atinge a sua velocidade máxima (SANTANA, 2013).

O modelo Gompertz (GOMPERTZ, 1925; Modelo 7; Figura 2) é uma curva sigmóide, porém assimétrica em relação ao ponto de inflexão, ou seja, o modelo de Gompertz foi desenvolvido com o pressuposto de que a taxa de crescimento diminui exponencialmente com o tempo, isto é, o ritmo do desenvolvimento dos tecidos é mais lento depois de atingir o ponto de inflexão (LAIRD, 1965). O modelo de Gompertz possui especificidade desejável para uma curva de crescimento, pois diferente de outros modelos, a massa corporal inicial é sempre superior à zero, considerando então que o animal já nasce com algum peso (PAZ et al., 2004).

O modelo do Richards (RICHARDS, 1959; Modelo 8; Figura 2) é uma função com quatro parâmetros e ponto de inflexão variável (ECHEVERRI, 2010). Segundo Brown et al. (1976), pode haver grandes dificuldades na utilização desta curva devido à não-convergência da solução iterativa, sendo que a principal causa seria a correlação alta e negativa entre os parâmetros B e C. A função de Richards pode ser vista como empírica e, além disso, na literatura é frequentemente chamada de generalização do modelo Logístico (THORNLEY E FRANCE, 2007).

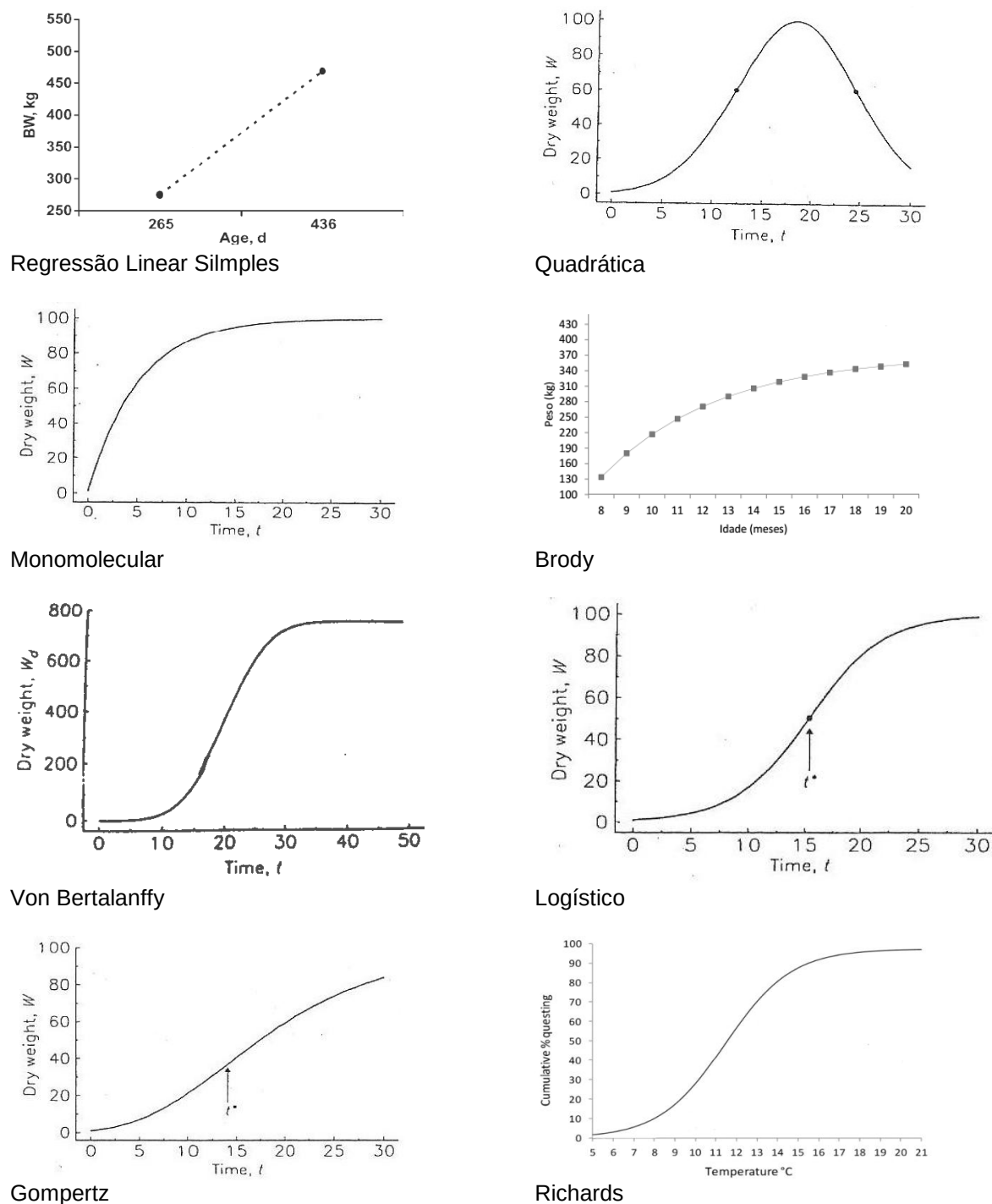


Figura 2. Representação gráfica dos modelos regressão linear simples (CASAS et al., 2007), quadrático (THORNLEY E FRANCE, 2007), monomolecular (THORNLEY E FRANCE, 2007), Brody (COUTINHO, 2014), Von Bertalanffy (THORNLEY E FRANCE, 2007), Logístico (THORNLEY E FRANCE, 2007), Gompertz (THORNLEY E FRANCE, 2007) e Richards (TOMKINS et al., 2014).

Dentre esses, os modelos Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy possuem ponto de inflexão fixado como uma proporção da predição do y assintótico. Araújo et al. (2015) comentaram que o ponto de inflexão representa a puberdade (isto é, o ponto em que o animal atinge a maturidade sexual e a taxa de crescimento começa a reduzir assintoticamente tendendo zero). O modelo de Richards possui maior flexibilidade na estimativa do ponto de inflexão, que é estimado por um parâmetro adicional ao modelo. A estimativa do ponto de inflexão real é desejável, porém às vezes não é factível, já que a estimativa de mais um parâmetro no modelo é oneroso do ponto de vista estatístico, o que pode acarretar em não convergência do modelo.

A utilização de modelos é uma ferramenta tangível, e a partir dela é possível avaliar, dentro dos modelos escolhidos, o modelo que melhor representa o crescimento do animal, tecidos e órgãos, e com isso estimar como ocorre esse crescimento em cada fase do animal e quanto representa dentro do crescimento total.

3 OBJETIVO

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o propósito geral de ajustar e comparar modelos que melhor descrevem o crescimento de órgãos do sistema visceral em caprinos Saanen, assim como avaliar o efeito do sexo de caprinos Saanen nas curvas de crescimento de órgãos do sistema visceral.

4 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. K.; RESENDE, K. T.; ST-PIERRE, N.; SILVA, S. P.; SOARES, D. C.; FERNANDES, M. H. M. R.; SOUZA, A. P.; SILVA, N. C. D.; LIMA, A. R. C; TEIXEIRA, I. A. M. A. Energy requirements for growth in male and female Saanen goats. **J. Anim. Sci.**, v. 93, p. 3932-3940, 2015.

ALMEIDA, A. K.; RESENDE, K. T.; TEDESCHI, L. O.; FERNANDES, M. H. M. R.; REGADAS FILHO, J. G.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Using body composition to determine weight at maturity of male and female Saanen goats. **J. Anim. Sci.**, v. 94, n. 6, p. 2564-2571, 2016.

ALMQUIST, H. J. Interpretation of amino acid requirement data according to the law of diminishing returns. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 44, p. 245-247, 1953.

ARAUJO, R. P.; VIEIRA, R. A. M.; ROCHA, N. S.; ABREU, M. L. C.; GLÓRIA, L. S.; ROHEM JÚNIOR, N. M.; FERNANDES, A. M. Long-term growth of body, body parts and composition of gain of dairy goat wethers. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1321-1340, 2015.

ATTAIX, D.; AUROUSSEAU, E.; MANGHEBATI, A.; ARNAL, M. Contribution of liver, skin and skeletal muscle to whole-body protein synthesis in the young lamb. **British Journal of Nutrition**, v. 60, p. 77-84, 1988.

ATTAIX, D.; RÉMOND, D.; SAVARY-AUZELOUX, I. C. Protein metabolism and turnover. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2005. cap. 14, p. 373-398.

BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New Concepts of Cattle Growth**. Sydney: University Press., 1976. p. 240.

BLAXTER, K. L.; FOWLER, V. R.; GILL, J. C. A study of the growth of sheep to maturity. **Journal of Agricultural Science**, v. 98, p. 405-420, 1982.

BORGES, A. I. C. Interface "Comparação de curvas de crescimento": Aplicação informática para o auxílio na comparação de curvas de crescimento de populações de peixes. 2008. 123f. Dissertação (Mestrado em Ensino da Matemática) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2008.

BRAGA, Z. C. A. C.; BRAGA, A. P.; VASCONCELOS, S. H. L. Efeito da castração sobre ganho de peso e características da carcaça de caprinos SRD. **Caatinga**, Mossoró-RN, v. 16, p. 13-15, 2003.

BRODY, S. **Bioenergetics and Growth. With Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945. p. 1007.

BROWN, J. E.; FITZHUGH, H. A.; CARTWRIGHT, T. C. A. Comparison of Nonlinear Models for Describing Weight-Age Relationships in Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 42, p. 810-818, 1976.

BRYANT, P. J.; SIMPSON, P. Intrinsic and extrinsic control of growth in developing organs. **Quart. Rev. Biol.**, v. 59, p. 387-415, 1984.

CASAS, E.; LUNSTRA, D. D.; CUNDIFF, L. V.; FORD, J. J. Growth and pubertal development of F1 bulls from Hereford, Angus, Norwegian Red, Swedish Red and White, Friesian, and Wagyu sires. **J. Anim. Sci.**, v. 85, p. 2904-2909, 2007.

CHURCH, D. C. **The ruminant animal digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988. 564p.

COUTINHO, C. C. Curvas de crescimento de características de carcaça obtidas por ultrassonografia em bovinos Nelore selecionados para peso pós desmame. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014.

CURNOW, R. N. A smooth population response curve based on abrupt threshold and plateau model for individuals. **Biometrics**, v. 29, p. 1-10, 1973.

DOUMIT, M. E. E.; MERKEL, R. A. Growth and development: postnatal. In: POND, W. G.; BELL, A. W. **Encyclopedia of Animal Science**. New York: Marcel Dekker, 2005. p. 513-516.

ECHEVERRI, A. M. L. Uso de modelos não-lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal em touros da raça guzerá criados em pastoreio extensivo. 2010. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, 2010.

FAO. Estatísticas FAO, 2014. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: Outubro de 2016.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M. S. Growth functions and their application in animal science. **Ann Zootech**, INRA/EDP Sciences, v. 45, Suppl1, p. 165-174, 1996.

GILL, M; FRANCE, J.; SUMMERS, M.; MCBRIDE, B. W.; MILLIGAN, P. L. Simulation of the Energy Costs Associated with Protein Turnover and Na⁺,K⁺-Transport in Growing Lambs. **Journal of Nutrition**, v.119, n.9, p.1287-1299, 1989.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical transactions of the Royal Society**, v. 36, p. 513-585, 1825.

GOUS, R. M.; MORAN, E. T.; STILBORN, H. E.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. **Poultry science**, v. 78, p. 812-821, 1999.

HAFEZ, E. S. E; HAFEZ, B. **Reprodução animal**. 7. ed. São Paulo: Manole, 2004. p. 513.

HAMMOND, J. **Growth and development of mutton qualities in the sheep.** Edinburgh, UK: Oliver and Boyd, 1932. p. 595.

HUNTINGTON, G. B. Energy metabolism in the digestive tract and liver of cattle: Influence of physiological state and nutrition. **Reproduction Nutrition Development**, v. 30, p. 35-47, 1990.

HUNTINGTON, G. B.; REYNOLDS, C. K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. **The Journal of Nutrition**, v. 117, p. 1167-1173, 1987.

IBGE. Dados estatísticos, 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: Outubro de 2016.

JACOBS, J. A.; BOTKIN, M. P.; KALTENBA, C. C.; FIELD, R. A.; RILEY, M. L. Effects of testosterone enanthate on lamb carcass composition and quality. **Journal of Animal Science**, v. 34, n. 1, p. 30-45, 1972.

KEBREAB, E.; SCHULIN-ZEUTHEN, M.; LOPEZ, S.; SOLER, J.; DIAS, R. S.; DE LANGE C. F.; FRANCE J. Comparative evaluation of mathematical functions to describe growth and efficiency of phosphorus utilization in growing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 85, p. 2498-2507, 2007.

KOZLOSKI, G. V. Bioquímica dos ruminantes. 3. ed. Santa Maria, RS: Editora UFSM, 2011. p. 212.

LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, n.3, p. 249-263, 1965.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. **Growth of Farm Animals**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2002. p. 347.

LINDSAY, D. B.; REYNOLDS, C. K. Metabolism of the portal-drained viscera and liver. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2005. cap. 12, p. 373-398.

MADRUGA, M. S.; ARRUDA, S. G. B.; NARAIN, N.; SOUZA, J. G. Castration and slaughter age effects on panel assessment and aroma compounds of the “mestiço” goat meat. **Meat Science**, v. 56, p. 117-125, 2000.

MERGER, L. P. The determination of nutritional requirements: mathematical modeling of nutrient response curves. **Journal of Nutrition**, v. 122, p. 706-708, 1992.

MITSCHERLICH, E. A. The law of the minimum and the law of diminishing soil productivity (In German). **Landwirtschaftliches Jahrbucher**, v.38, p. 537-552, 1909.

NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7. ed. Washington, D. C.: National Academy Press, 2000. 284 p.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138-3150, 1993.

OWENS, F. N.; GILL, D. R.; SECRIST, D. S.; COLEMAN, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **J. Anim. Sci.**, v. 73, p. 3152-3172, 1995.

PAZ, C. C. P.; PACKER, I. U.; FREITAS, A. R.; TAMBASCO-TALHARI, D.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M.; CRUZ, G. M. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovino de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1416-1425, 2004.

PEREIRA FILHO, J. M.; TRINDADE, I. A. M. C.; RESENDE, K. T. et al. Biometria do trato gastrointestinal em cabritos $\frac{1}{2}$ sangue (Boer x Saanen). In: REUNIÓN DA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 17., 2001, Habana. **Anais...** Havana: ALPA, Cuba, 2001. CD-ROM (Nutrição de ruminantes).

PEREIRA, G. M.; SOUZA, B. B.; SILVA, A. M. A.; ROBERTO, J. V. B.; SILVA, C. M. B. A. Avaliação do comportamento fisiológico de caprinos da Raça Saanen no semiárido paraibano. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil), v.6, n.1, p. 83-88, 2011.

PESTI, G. VEDENOV, M. D.; CASON, J.A., BILLARD, L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, v. 50, n. 1, p. 16-32, 2009.

RAO KOYA, P.; GOSHU, A. T. Generalized Mathematical Model for Biological Growths. **Open Journal of Modelling and Simulation**, v. 1, p. 42-53, 2013.

REGADAS FILHO, J. G. L.; TEDESCHI, L. O.; RODRIGUES, M. T.; BRITO, L. F.; OLIVEIRA, T. S. Comparison of growth curves of two genotypes of dairy goats using nonlinear mixed models. **Journal of Agricultural Science**, v. 152, p. 829-842, 2014.

RESENDE, K. T.; SILVA, H. G. O.; LIMA, L. D.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 161-177, 2008.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, p. 290-301, 1959.

SAHLU, T.; GOETSCH, A. L.; LUO, J.; NSAHLAI, I. V.; MOORE, J. E.; GALYEAN, M. L.; OWENS, F. N.; FERRELL, C. L.; JOHNSON, Z. B. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. **Small Ruminant Research**, v.53, n. 3, p. 191-219, 2004.

SALIN, M. M. Desenvolvimento do trato gastrintestinal de cabritos F1 Boer x Saanen em crescimento submetidos à diferentes níveis nutricionais. 2003. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2003.

SANTANA, T. J. S. Novos modelos de curvas de crescimento para bovinos de corte. 2013. 71 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, 2013.

SEAL, C. J.; REYNOLDS, C. K. Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. **Nutrition Research Reviews**, v. 6, p. 185-208, 1993.

SOUZA, A. P.; ST-PIERRE, N. R.; FERNANDES, M. H. R. M.; ALMEIDA, A. K., VARGAS, J. A. C.; RESENDE, K. T.; AND TEIXEIRA, I. A. M. A. Sex effects on net protein and energy requirements for growth of Saanen goats. **J. Dairy Sci.**, v. 100, p. 4574- 4586, 2017.

TEDESCHI, L. O., BOIN, C.; FOX, D. G.; LEME, P. R.; ALLEONI, G. F.; LANNA, D. P. D. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. **J. Anim. Sci.**, v. 80, p. 1671-1682, 2002.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2007. p. 906.

TOMKINS, J. L.; AUNGIER, J.; HAZEL, W.; GILBERT, L. Towards an Evolutionary Understanding of Questing Behaviour in the Tick *Ixodes ricinus*. **PLOS ONE**, v. 9, n. 10, p. e110028, 2014.

TROVON, A. A. Equação Quadrática. Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, 2012. 7 f. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~trovon/cursos/2012_Topicos_de_Historia/A_Equacao_Quadratica.pdf> Acesso em: 02 de novembro de 2016.

VERHUST, P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. **Correspondences Mathématiques et Physiques**, v. 10, p.113-121, 1838.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v. 32, p. 217-231, 1957.

WILSON, B. J. Growth curves: their analysis and use. In: BOORMAN, K. N.; WILSON, B. J. **Growth and Poultry Meat Production**. Proceedings 12th Poultry Science Symposium. Edinburgh: British Poultry Science Ltd, 1977. p. 89-115.

YÀNEZ, E. A. Desenvolvimento relativo dos tecidos e características da carcaça de cabritos Saanen, com diferentes pesos e níveis nutricionais. Jaboticabal. 2002. 85p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

CHAPTER 2. SEX AFFECTS GROWTH CURVES OF THE VISCERAL ORGANS OF SAANEN GOATS

Summary

This work was performed gathering information of 7 studies, in which growth curves were fitted to the visceral organs of female, intact male, and castrated male Saanen goats from 0.5 to 19.5 months old. Initially, eight models were assessed: Monomolecular; Simple linear regression; Quadratic; Monomolecular; Brody; Von Bertalanffy; Logistics; Gompertz; and Richards. Data of the visceral organs (liver, pancreas, spleen, rumen-reticulum, omasum, abomasum, small intestine, and large intestine) and mesenteric adipose tissue (MAT) were fitted in the models using NLMIXED procedure of SAS. The best fitted model was choosing based on the Akaike Corrected Information Criterion for small samples (AICc) and values and the concordance correlation coefficient (CCC). After choosing the model that best fitted the growth curve of the evaluated visceral organs, we modelled the variance seeking a better fit. Parameters of the models for each sex were compared using the CONTRAST statement ($p < 0.10$). Overall, the model that best described visceral organ growth was the logistic (lower AICc and higher CCC). The sex did not influence the parameters of equations to predict the growth (g) of the evaluated organs ($p > 0.10$), except for MAT ($p < 0.02$); females presented a lower deposition rate compared to males (0.318 ± 0.034 vs 0.659 ± 0.062), and a inflection point higher than males (7.7 vs 3.7 months). Irrespective of sex, at the beginning of growth, liver stood for 2.75 ± 0.113 % of empty body weight, and its inflection point of the curve (g) occurred at 1.7 months. The rumen-reticulum and large intestine, presented higher growth rates in the first two months of life. Knowledge of the growth curve of the visceral organs can be very useful in improving the understanding of their impact on the nutritional requirements of these animals, and be used to optimize a nutritional plan.

Keywords intestines, gastrointestinal tract, liver, mesenteric adipose tissue, stomachs

Introduction

Studies on growth curves of farm animals have been used to assess how body components (carcass, fat, organs, etc.) develop over time, as well as to evaluate the growth of these components with respect to environment, diet, genotype, age, among other factors (Wardrop and Coombe, 1960; Regadas Filho et al., 2014). The understanding of how growth occurs is an important step for the elaboration of models that predict nutritional requirements of the animals, as well as the factors that affect their performance (Gous et al., 1999).

Animal growth involves dynamic changes in various organs and tissues. At the beginning of life until puberty of the animal, the rates of mass gain are greater, mainly due to deposition of the bone and muscular tissues (Owens et al., 1993). In this sense, by action and concentration of certain hormones such as testosterone and estrone, the sex of the animal may determine differences on the body tissue deposition priorities (Jacobs et al., 1972; Sahlu et al., 2004).

In addition, most of the maintenance and gain requirements of ruminants are influenced by their visceral organs, which requires about 50 % of all energy spent by the animal (Huntington, 1990; Seal and Reynolds, 1993). Thus, changes in the size of the visceral organs occur naturally with the animal growth, and can be differently in females, castrated males, and intact males, due to differences in body tissue deposition between them; directly interfering with their nutritional requirements (Owens et al., 1995; Tedeschi et al., 2002), which makes it important to know the growth curve of these organs. Therefore, the objective of the present study was to adjust and compare models that best describe the visceral organs growth in Saanen goats of different sexes.

Materials and methods

The procedures used in all studies gathered in the database were reviewed and approved by the University's Animal Care Committee (Comissão de Ética e Bem-Estar Animal – CEBEA). The systematization of the results was done through the application of a comprehensive statistical procedure for obtaining the general pattern of growth of the visceral organs of female, castrated male, and intact male of Saanen goats from 5

to 45 kg of body weight (BW), which implied in the range of age from 0.5 to 19.5 months old for females, and from 0.5 to 13.5 months old for intact and castrated males.

Dataset

A dataset was developed based on 7 studies conducted at Universidade Estadual Paulista (Jaboticabal – SP, Brazil). It included 237 individual records of visceral organs of females (n=71), castrated males (n=69), and intact males (n=97), of Saanen goats fed *ad libitum* (Table 1).

Goats were fed similar diet that consisted of dehydrated corn plant (*Zea mays*, whole corn plants chopped when kernel milk line was around two-thirds of the way down the kernel and then dehydrated) or Tifton hay (*Cynodon* spp), corn grain, soybean meal (*Glycine max*), soybean oil, limestone, and mineral and vitamin supplement. The roughage to concentrate ratio ranged between 25:75 and 50:50. Crude protein and metabolizable energy composition of the diets fed by goats in the studies ranged from 137 to 204 g/kg of dry matter and from 10.0 to 11.3 MJ/kg of dry matter, respectively. Further details about goats and diets used in each study can be found at Gomes (2011); Bompadre et al. (2014); Medeiros et al. (2014); Almeida et al. (2015); Ferreira et al. (2015); Leite et al. (2015a); Figueiredo et al. (2016) (Table 1, and Table 1 A of the appendix).

Table 1 Summary characteristics of the seven studies used the dataset.

Studies	N ¹	Sex	Age (months)	Phase ²	BW ³ (Kg)	EBW ⁴ (Kg)
Gomes (2011)	18	Intact male	9.5 to 10.7	Weaned	34.2 to 46.2	27.4 to 40.2
Bompadre et al. (2014)	18	Female	0.5 to 6.7	Suckling	4.7 to 16.3	4.2 to 13.4
	15	Castrated male	0.5 to 3.8	Suckling	4.9 to 16.7	3.9 to 13.7
	22	Intact male	0.5 to 4.7	Suckling	4.2 to 16.5	3.9 to 12.8
Medeiros et al. (2014)	23	Intact male	0.5 to 3.8	Suckling	5.0 to 20.8	4.9 to 17.5
Almeida et al. (2015)	17	Female	9.3 to 19.5	Weaned	27.5 to 44.8	21.8 to 38.2
	16	Castrated male	6.4 to 13.3	Weaned	27.5 to 47.3	21.3 to 39.7
	14	Intact male	6.8 to 13.0	Weaned	27.3 to 46.6	23.3 to 39.7
Ferreira et al. (2015)	18	Castrated male	4.3 to 6.2	Weaned	27.2 to 33.9	20.5 to 30.3
Leite et al. (2015a)	18	Female	3.2 to 7.1	Weaned	16.1 to 31.4	12.6 to 25.4
	20	Castrated male	2.4 to 9.8	Weaned	14.8 to 32.6	11.5 to 25.9
	20	Intact male	2.4 to 11.7	Weaned	15.3 to 34.0	12.1 to 27.3
Figueiredo et al. (2016)	18	Female	8.2 to 15.3	Weaned	28.2 to 44.7	20.9 to 39.2
Total	237					

¹Total number of records on the study. ²Suckling refers to goats that were fed both milk and solid diet and weaned refers to goats that were fed only with solid feed. ³Body weight. ⁴Empty body weight.

Slaughter procedures were similar in all studies. In summary, BW was recorded immediately before slaughter, then goats were stunned using a captive bolt pistol, followed by section of the carotid artery and jugular vein. The empty body weight metabolic (EBWM) was obtained by raising EBW to 0.75. Liver, pancreas, spleen, mesenteric adipose tissue (MAT), and gastrointestinal tract (GIT) were removed and their mass was recorded, and the sum of all constitute the visceral organs (Table 2). The GIT was separated into rumen-reticulum, omasum, abomasum, small intestine (SI; sum of duodenum, jejunum, and ileum), and large intestine (LI; sum of cecum, colon, and rectum). The mass of each segment of the GIT was recorded before and after emptying for obtaining the mass of GIT content. The mass of bladder, GIT, and biliary vesicle contents was used for obtaining the empty body weight (EBW). The stomachs (STO, g) was obtained as the sum of rumen-reticulum, omasum, and abomasum. The intestines (IN, g) was considered as the sum of SI and LI. The GIT (g) was obtained as the sum of STO and IN. Data of the mass of visceral organs and MAT are summarized in Table 2.

Table 2 Summary of statistics related to organs in grams (g) of Saanen goats used in this study.

Variables	N ¹	Mean	Median	Minimum	Maximum	Standard Error
Body weight (kg)	237	24.7	27.2	4.2	47.3	8.08
Empty body weight (kg)	235	20.7	20.8	3.9	40.2	6.85
Liver	234	469	473	92.9	945	13.4
Pancreas	212	44.3	40.8	6.24	106	1.76
Spleen	214	45.2	43.2	7.85	103	1.54
Mesenteric adipose tissue	210	468	337	8.7	1851	28.6
Rumen-reticulum	211	535	590	6.24	1050	17.5
Omasum	199	68.1	70.1	3.96	158	2.35
Abomasum	213	136	130	15.8	352	4.27
Small intestine	203	600	605	146	1069	12.1
Large intestine	208	341	345	32.2	740	10.7
Stomachs	195	777	827	53.3	1360	22.2
Intestines	197	944	987	211	1600	20.9
Gastrointestinal tract	184	1744	1839	357	2827	39.8
Visceral organs	159	2788	2860	513	4896	87.0

¹Total number of records after removed from outliers used in this study

Statistical Analyses and Parameter Estimation

Initially, eight models were evaluated: Simple linear regression (Eq. 1), Quadratic (Eq. 2), Monomolecular (Eq. 3; Mitscherlich, 1909), Brody (Eq. 4; Brody, 1945), Von

Bertalanffy (Eq. 5; Von Bertalanffy, 1957), Logistic (Eq. 6; Verhulst, 1838), Gompertz (Eq. 7; Gompertz, 1925), and Richards (Eq. 8; Richards, 1959):

$$\hat{y}_{ijk} = a + bx_{ijk} + S_k + e_{ijk} \quad (1)$$

$$\hat{y}_{ijk} = a + bx_{ijk} + cx_{ijk}^2 + S_k + e_{ijk} \quad (2)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A (1 - e^{-Cx_{ijk}}) + S_k + e_{ijk} \quad (3)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A (1 - B e^{-Cx_{ijk}}) + S_k + e_{ijk} \quad (4)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A (1 - B e^{-Cx_{ijk}})^3 + S_k + e_{ijk} \quad (5)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A / (1 + B e^{-Cx_{ijk}}) + S_k + e_{ijk} \quad (6)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A e^{-B e^{-Cx_{ijk}}} + S_k + e_{ijk} \quad (7)$$

$$\hat{y}_{ijk} = A (1 - B e^{-Cx_{ijk}})^M + S_k + e_{ijk} \quad (8)$$

where Y_{ijk} is the value of the dependent variable (the weight (g) of a given organ expressed in g, or as a % EBW, or as a % STO (only for rumen-reticulum, omasum, and abomasum), or as a % IN (only for SI and LI), or as a % GIT) for the i^{th} animal of the j^{th} sex in the k^{th} study; X is the age (months) of the animals; S_k is the random effect of the k^{th} study $\sim N(0, \sigma_s^2)$, and e_{ijk} is the residual error $\sim N(0, \sigma_e^2)$; $i = 1, \dots, n_{ij}$; $j = 1, 2, 3$; $k = 1, \dots, 7$; a is the regression constant, which represents the intercept of the line with the y-axis; b is a regression coefficient, which represents the slope of the line; c is a constant coefficient; A is the weight of the organ when the age tends to infinity, that is, the asymptotic weight of the organ; B is the constant of integration; e is a base of the natural logarithm; C is the rate that determines the curve span along the x-axis (age), that is, the growth rate relative to the maximum weight; and M is the constant that determines the final BW ratio when the inflection point occurs (only to the Richards model).

Data were fitted to the models using NLMIXED procedure of SAS (version 9.4) considering sex as fixed effect and study and residual errors as random effects (St-Pierre, 2001). Due to the large data variability, outliers were removed when their normalized residuals were $> |4|$ and the total number of records presented in tables is considering outliers remotion. The outliers were from different studies. The variability within studies was modeled by introducing a parameter μ into A or a (for Eq. 2 and 3). "Dummy" variables were created to check the fixed effect of sex on the estimated

parameters. Therefore, three dummy variables (z_1 , z_2 , and z_3) were created. For females, $z_1 = 1$, $z_2 = 0$, and $z_3 = 0$; for castrated males, $z_1 = 0$, $z_2 = 1$, and $z_3 = 0$; and for intact males, $z_1 = 0$, $z_2 = 0$ and $z_3 = 1$ (Draper and Smith, 1998). Parameters of growth curves for each sex were estimated using the "ESTIMATE" statement, and they were compared using the "CONTRAST" statement ($p < 0.10$).

The models were evaluated using the lowest value of Akaike information criterion (Akaike, 1974), corrected for small samples (AICc) (Sugiura, 1978), and the concordance correlation coefficient statistics (CCC). The CCC was used as an indicator of how well the model fitted the data; as a reproducibility index (Lin, 1989), allowing to account for accuracy and precision at the same time as follow:

$$CCC = \rho C_b \quad (9)$$

where ρ is the Pearson correlation coefficient estimate and it accounts for precision, and C_b is a bias correction factor and it accounts for accuracy.

After choosing the model that showed the best fit, a second step was done for refining its adjustments by modeling the error structure to seek for homogeneous variance of the residuals. Therefore the variance (σ_e^2) for the model selected for each variable, was modeled according to the method proposed by Araujo et al. (2015). Hence, the error structure of the model for each variable were modeled as follow:

$$V1 = (\sigma_e^2) \quad (10)$$

$$V2 = (\sigma_e^2) \exp (c \times \text{age}) \quad (11)$$

$$V3 = (\sigma_e^2) \times \mu^{2\varphi} \quad (12)$$

where c and φ are parameters, and μ is the predicted value of the weight of a specific organ. Completed these tests, the models were evaluated using the lowest value of AICc.

The organ growth rate in g/month was calculated as the first derivative of the inflection point was calculated as the second derivative of the models (Stewart, 2013).

Results

Model evaluation and variance modeling

According to the evaluation criteria established for assessing the model (i.e., lowest AICc and highest CCC), the monomolecular (Eq. 3) and Richards (Eq. 8) models did not fit the growth of the evaluated organs; the simple linear regression (Eq. 1) was the one the best fitted the growth of visceral organs, GIT, and intestines (% EBW) (Table A 3 of the appendix). The quadratic (Eq. 2) was the one that best fitted the growth of liver (% EBW), pancreas (% EBW), SI (% EBW), LI (% EBW), and omasum (% EBW, % STO, and % GIT) (Table A 2 and A 3 of the appendix). Brody model (Eq. 4) was the best one for fitting the growth of spleen (g), abomasum (% EBW and % STO), SI (% IN), and stomachs (% GIT) (Table A 2 and A 3 of the appendix). Von Bertalanffy model (Eq. 5) was the best for fitting growth of MAT (% EBW), and SI (% GIT) (Table A 3 of the appendix). Logistic model (Eq. 6) was the best one for fitting growth of liver, pancreas, MAT, GIT, omasum, abomasum, stomachs, intestines, SI, LI, visceral organs, BW, EBWM, and EBW in grams (Table A 2 of the appendix). It was also the best fitted for spleen, rumen-reticulum, omasum, and stomachs (% EBW), rumen-reticulum (% STO), large intestine (% IN), and rumen-reticulum (% GIT) (Table A 3 of the appendix). The Gompertz model (Eq. 7) was the best one for fitting growth of rumen-reticulum (g), SI (% GIT), and LI (% GIT) (Table A 2 and A 3 of the appendix).

The models fitted to pancreas (g), spleen (g), GIT (g), and large intestine (% GIT) presented homogenous variance (Table A 4 and A 5 of the appendix). All the other models did not present homogeneous variance, thus variance was modeled seeking for better fit. Thus, MAT, omasum, and abomasums (% EBW), and rumen-reticulum (% STO) required variance modeled by V2 (i.e., Eq. 11; Table A 5 of the appendix). On the other hand, variance modeled by V3 (i.e., Eq. 12) was the best for all models fitting growth of organs in grams, visceral organs, liver, rumen-reticulum, GIT, stomachs, SI, LI, and intestines (% EBW); omasum and abomasum (% STO); all organs (% IN); and all organs (% GIT), except by LI (% GIT) (Table A 4 and A 5 of the appendix).

The AICc and CCC information's of the best models fitting growth of visceral organs are presented in Table 3, and 4, and Table A 2, A 3, A 4, and A 5 of the appendix.

Table 3 Akaike information criterion corrected for small samples (AICc), concordance correlation coefficient (CCC), precision, and accuracy obtained with the models fitting growth of visceral organs of Saanen goats (g)

Variable	n	AICc	CCC	Precision*	Accuracy**
Body Weight ¹	237	4517.2	0.910	0.916	0.994
Empty Body Weight ¹	235	4423.1	0.895	0.898	0.996
Empty Body Weight Metabolic ¹	235	3128.8	0.862	0.908	0.862
Visceral organs ¹	159	2333.8	0.809	0.857	0.944
Liver ¹	234	2671.5	0.760	0.846	0.898
Pancreas ¹	212	1573.6	0.771	0.840	0.919
Spleen ²	214	1613.1	0.632	0.786	0.804
Mesenteric adipose tissue ¹	210	2573.5	0.721	0.807	0.893
Rumen-reticulum ³	211	2476.9	0.795	0.854	0.931
Omasum ¹	199	1641.1	0.711	0.795	0.894
Abomasum ¹	213	1975.7	0.546	0.789	0.694
Stomachs ¹	195	2387.5	0.825	0.863	0.711
Small intestine ¹	203	2437.1	0.575	0.663	0.867
Large intestine ¹	208	2356.9	0.673	0.904	0.745
Intestines ¹	197	2507.3	0.684	0.758	0.902
Gastrointestinal tract ¹	184	2497.3	0.740	0.820	0.903

*, is the Pearson correlation coefficient estimate and it accounts for precision; **, is a bias correction factor and it accounts for accuracy; n: Total number of records; ¹Logistic: $\hat{y} = A / (1 + B e^{-CX})$; ²Brody: $\hat{y} = A (1 - B e^{-CX})$; ³Gompertz: $\hat{y} = A e^{-B e^{-CX}}$.

Table 4 Akaike information criterion corrected for small samples (AICc), concordance correlation coefficient (CCC), precision, and accuracy obtained with the models fitting growth of visceral organs of Saanen goats (% EBW, % STO, % IN and % GIT)

Variable	n ¹	AICc	CCC	Precision*	Accuracy**
% Empty Body weight					
Visceral organs ⁴	159	571.3	0.238	0.507	0.470
Liver ⁵	231	136.5	0.420	0.540	0.778
Pancreas ⁵	210	-656.4	0.227	0.386	0.589
Spleen ¹	212	-575.9	0.215	0.350	0.614
Mesenteric adipose tissue ⁶	208	333.5	0.371	0.594	0.624
Rumen-reticulum ¹	209	317.6	0.431	0.501	0.860
Omasum ¹	199	-490.0	0.418	0.521	0.801
Abomasum ²	211	-177.2	0.464	0.571	0.813
Stomachs ¹	195	353.4	0.135	0.240	0.564
Small intestine ⁵	201	420.1	0.535	0.774	0.691
Large intestine ⁵	205	220.6	0.127	0.22	0.578
Intestines ⁴	195	528.8	0.423	0.715	0.591
Gastrointestinal tract ⁴	184	613.4	0.316	0.645	0.489
% Stomachs					
Rumen-reticulum ¹	193	1035.9	0.484	0.611	0.792
Omasum ⁵	195	692.2	0.430	0.539	0.801
Abomasum ²	193	979.1	0.703	0.704	0.999
% Intestines					
Small intestine ²	197	1217.2	0.224	0.488	0.459
Large intestine ¹	197	1193.0	0.438	0.574	0.763
% Gastrointestinal tract					
Rumen-reticulum ¹	182	969.7	0.570	0.690	0.825
Omasum ⁵	184	395.0	0.672	0.876	0.767
Abomasum ⁵	183	555.2	0.137	0.193	0.708
Stomachs ²	184	1029.1	0.501	0.684	0.733
Small intestine ⁶	183	1024.8	0.497	0.717	0.693
Large intestine ³	184	938.9	0.088	0.183	0.481
Intestines ³	184	1028.9	0.445	0.708	0.628

*, is the Pearson correlation coefficient estimate and it accounts for precision; **, is a bias correction factor and it accounts for accuracy; n: Total number of records; ¹Logistic: $\hat{y} = A / (1 + B e^{-CX})$; ²Brody: $\hat{y} = A (1 - B e^{-CX})$; ³Gompertz: $\hat{y} = A e^{-B e^{-CX}}$; ⁴Simple linear regression: $\hat{y} = a + bx$; ⁵Quadratic: $\hat{y} = a + bx + cx^2$; ⁶Von Bertalanffy: $\hat{y} = A (1 - B e^{-CX})^3$.

BW and organs growth

Sex did not affect the parameters of models fitting growth of visceral organs, liver, pancreas, and spleen (g), as well as visceral organs, pancreas, spleen, and MAT (% EBW) ($p > 0.10$; Table 5). The parameters of models for predicting growth of BW (g, parameters A), EBW (g, parameters B and C), EBWM (g, parameters B), MAT (g, parameter B), and liver (% EBW, parameters a), were similar between sexes ($p > 0.10$; Table 5).

The parameters of models for predicting growth of BW (g, parameters B and C), EBW (g, parameter C), EBWM (g, parameters A and C), MAT (g, parameter A and C), and liver (% EBW, parameters b and c), were similar between intact males and castrated males ($p > 0.10$; Table 5), however different between females and males ($p < 0.09$; Table 5).

Males showed greater growth rate (0.522 ± 0.032) than females (0.337 ± 0.027) being able to reach 45 kg of slaughter weight 6 months earlier than females. Therefore, the inflection point of the growth curve of females occurred at 4.9 months, whereas for males it occurred at 3.7 months. These findings (i.e, greater growth rate and earlier inflection point) indicate a greater initial growth for males (Table 5; Figure 1).

Irrespective of sex, at the beginning of growth, liver stood for 2.75 ± 0.113 % EBW and grew at a maximum rate of 0.531 ± 0.062 , and pancreas stood for 0.168 ± 0.016 % EBW and grew at a maximum rate of 0.498 ± 0.052 (Table 5; Figure 2). The inflection point of the curve for the liver (g) occurred at 1.7 months, and for the pancreas (g) the inflection point occurred at 3.1 months (Table 5; Figure 2).

The growth of MAT (g) in males was faster than in females (i.e., maximum growth rate 0.659 ± 0.062 vs 0.318 ± 0.034), but it stabilized before in males (i.e., inflection point 3.7 months vs 7.7 months; Table 5). Consequently, males and females reached maximum MAT of 700 ± 90.5 g (within the period of 13.5 mo) and 1044 ± 140 g (within the period of 19.5 mo), respectively (Table 5; Figure 2). On the other hand, irrespective of sex, MAT reached the maximum weight as 2.31 ± 0.296 % EBW, within the evaluated period (Table 5; Figure 2).

Table 5 Model that best fit body weight and organ growth in grams (g) and in proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes

Variable	Model	IP (months)	p-value								
			A / a			B / b			C / c		
			F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM
Grams (g)											
Body Weight (Logistic)			0.21	0.24	0.80	0.07	0.05	0.25	0.01	0.004	0.67
Female	$\hat{y} = (40026 \pm 1239) / (1 + (5.18 \pm 0.604) e^{-(0.337 \pm 0.026) \times \text{Age}})$	4.9									
Intact male and castrated male	$\hat{y} = (40026 \pm 1239) / (1 + (6.90 \pm 0.548) e^{-(0.522 \pm 0.032) \times \text{Age}})$	3.7									
Empty Body Weight (Logistic)			0.73	0.80	0.93	0.70	0.39	0.69	0.0004	0.002	0.21
Female	$\hat{y} = (35747 \pm 1384) / (1 + (6.36 \pm 0.355) e^{-(0.320 \pm 0.021) \times \text{Age}})$	5.8									
Intact male and castrated male	$\hat{y} = (35747 \pm 1384) / (1 + (6.36 \pm 0.355) e^{-(0.452 \pm 0.026) \times \text{Age}})$	4.1									
Empty Body Weight Metabolic (Logistic)			0.05	0.07	0.56	0.69	0.18	0.47	0.01	0.002	0.95
Female	$\hat{y} = (2645 \pm 191) / (1 + (2.37 \pm 0.216) e^{-(0.221 \pm 0.033) \times \text{Age}})$	3.9									
Intact male and castrated male	$\hat{y} = (2234 \pm 109) / (1 + (2.37 \pm 0.216) e^{-(0.480 \pm 0.044) \times \text{Age}})$	1.8									
Visceral organs (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (3646.1 \pm 154) / (1 + (3.06 \pm 0.360) e^{-(0.421 \pm 0.045) \times \text{Age}})$	2.7	0.25	0.25	0.98	0.25	0.42	0.51	0.11	0.11	0.42
Liver (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (585 \pm 40.7) / (1 + (2.44 \pm 0.339) e^{-(0.531 \pm 0.062) \times \text{Age}})$	1.7	0.85	0.42	0.47	0.47	0.14	0.44	0.24	0.11	0.59
Pancreas (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (61.9 \pm 5.27) / (1 + (4.65 \pm 0.791) e^{-(0.498 \pm 0.052) \times \text{Age}})$	3.1	0.45	0.74	0.66	0.49	0.27	0.69	0.64	0.52	0.91
Spleen (Brody; all sexes)	$\hat{y} = (0.053 \pm 0.042) \times (1 + (579 \pm 464) e^{(0.058 \pm 0.010) \times \text{Age}})$	-	0.23	0.32	0.73	0.83	0.74	0.99	0.11	0.34	0.29
Mesenteric adipose tissue (Logistic)			0.02	0.02	0.94	0.94	0.76	0.94	0.02	0.01	0.61
Female	$\hat{y} = (1044 \pm 140) / (1 + (11.4 \pm 1.84) e^{-(0.318 \pm 0.034) \times \text{Age}})$	7.7									
Intact male and castrated male	$\hat{y} = (700 \pm 90.5) / (1 + (11.4 \pm 1.84) e^{-(0.659 \pm 0.062) \times \text{Age}})$	3.7									
% Empty body weight (% EBW)											
Visceral organs (Simple regression; all sexes)	$\hat{y} = (14.16 \pm 0.550) - (0.135 \pm 0.051) \times \text{Age}$		0.28	0.32	0.93	0.15	0.11	0.47			
Liver (Quadratic)			0.11	0.85	0.11	0.01	0.09	0.2	0.01	0.01	0.2
Female	$\hat{y} = (2.75 \pm 0.113) - (0.027 \pm 0.019) \times \text{Age} - (0.002 \pm 0.001) \times \text{Age}^2$										
Intact male and castrated male	$\hat{y} = (2.75 \pm 0.113) - (0.136 \pm 0.027) \times \text{Age} + (0.007 \pm 0.002) \times \text{Age}^2$										
Pancreas (Quadratic; all sexes)	$\hat{y} = (0.168 \pm 0.016) + (0.013 \pm 0.003) \times \text{Age} - (0.001 \pm 0.0002) \times \text{Age}^2$		0.91	0.15	0.21	0.26	0.61	0.54	0.17	0.42	0.60
Spleen (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (0.216 \pm 0.012) / (1 + (0.282 \pm 0.058) e^{-(0.337 \pm 0.237) \times \text{Age}})$		0.89	0.99	0.89	0.80	0.78	0.93	0.99	0.22	0.27
Mesenteric adipose tissue (Von Bertalanffy; all sexes)	$\hat{y} = (2.31 \pm 0.296) \times (1 - (0.229 \pm 0.034) e^{-(0.447 \pm 0.169) \times \text{Age}})^3$		0.17	0.18	0.76	0.23	0.33	0.50	0.42	0.14	0.74

IP = inflection point; F = Female; CM = Castrated Male; IM = Intact Male.

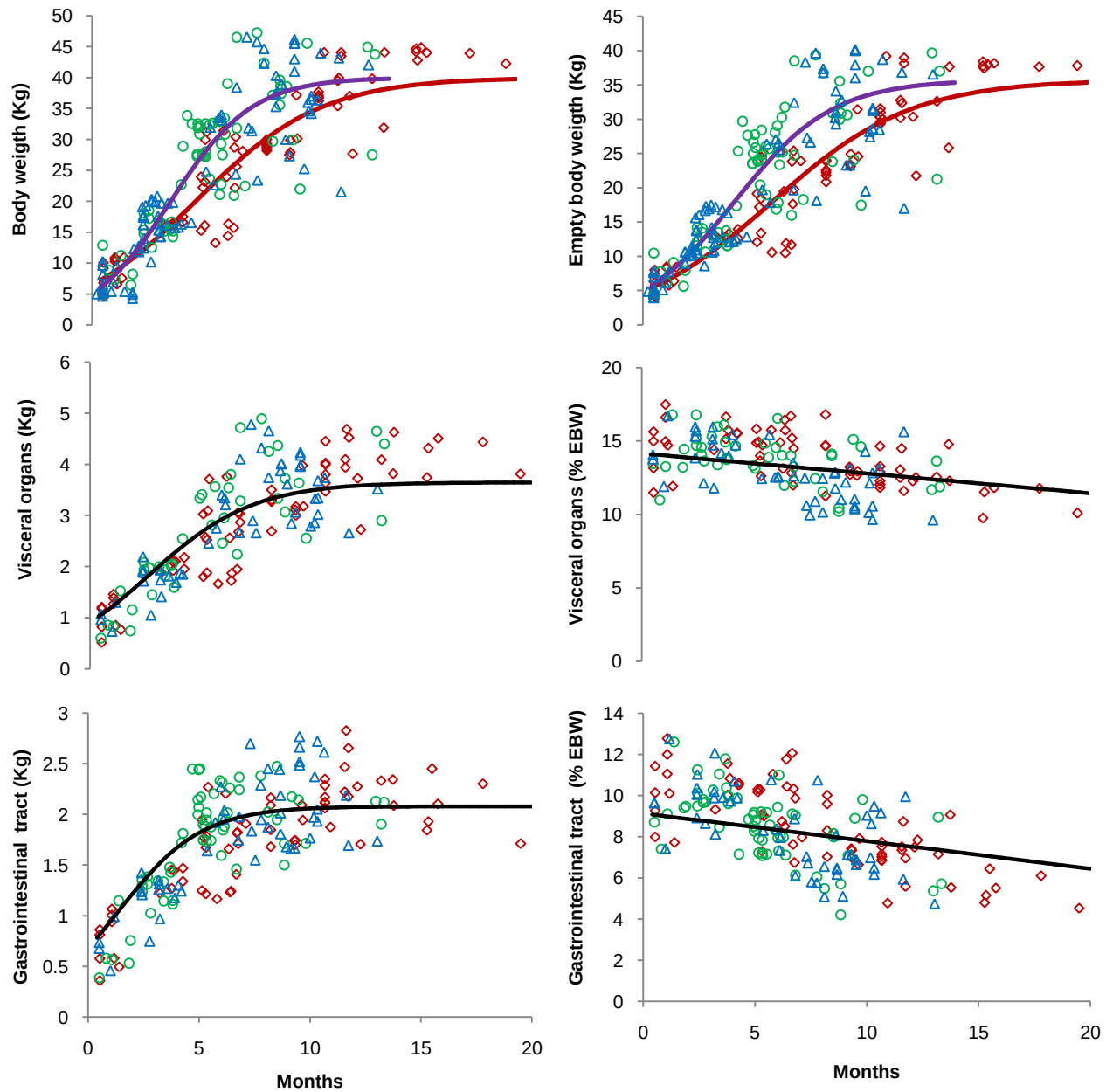


Figure 1 Body weight, empty body weight in kilograms (Kg), visceral organs and gastrointestinal tract in kilograms (Kg) and proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes ($\diamond$ represents the observed records of females, $\circ$ castrated males, and $\triangle$ intact males; — represents the predicted females, — castrated males and intact males, and — all sexes).

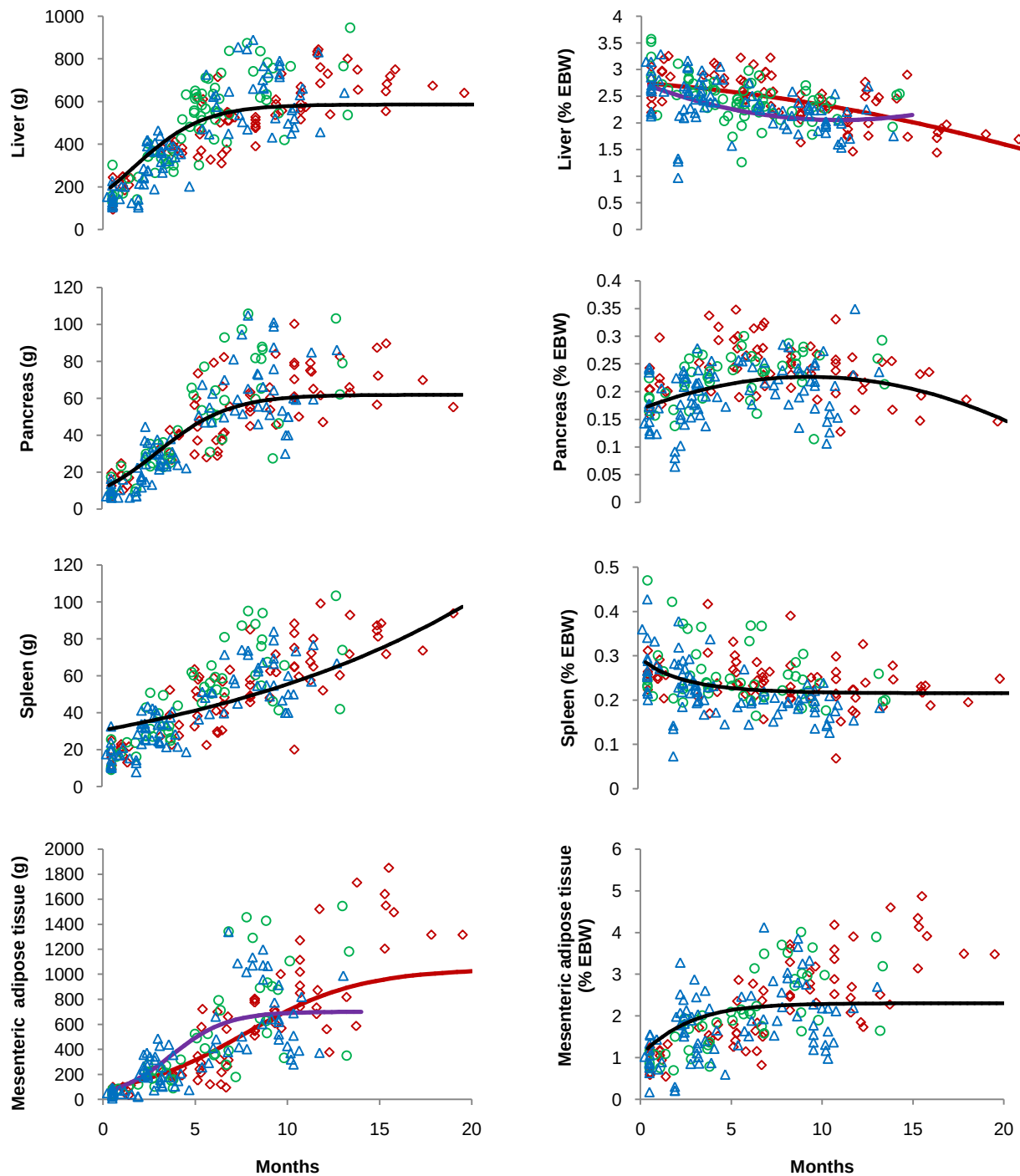


Figure 2 Liver, pancreas, spleen and mesenteric adipose tissue in grams (g) and proportion of empty body weight (% EBW) of Saanen goats of different sexes ($\diamond$ represents the observed records of females, $\circ$ castrated males, and $\triangle$ intact males; — represents the predicted females, — castrated males and intact males, and — all sexes).

Stomachs growth

Sex did not affect the parameters of models fitting growth of rumen-reticulum, omasum, and abomasum (g) as well as rumen-reticulum, and omasum (% EBW), and also for rumen-reticulum (% GIT) ($p > 0.10$; Table 6). The parameters of models for predicting growth of abomasum (% EBW, parameter B), rumen-reticulum (% STO, parameter A), omasum (% STO, parameter a), abomasum (% STO, parameter A), and omasum (% GIT, parameter a), were similar between sexes ($p > 0.10$; Table 6).

The parameters of model for predicting growth of omasum (% STO, and % GIT, parameters b and c), were similar between intact males and castrated males ($p > 0.10$), however, females were different from males ($p < 0.09$; Table 6). The parameters of models for predicting rumen-reticulum (% STO, parameters B and C), and abomasum (% GIT, parameters a and b) were similar between females and castrated males ($p > 0.10$), however those parameters were different for intact males ($p < 0.08$; Table 6).

The parameters of models for predicting growth of abomasum (% EBW, parameters A and C), and abomasum (% STO, parameter B), abomasum (% GIT, parameter c), females were different from intact males ($p < 0.06$; Table 6). The parameters of models for predicting abomasum (% STO, parameter C), and abomasum (% GIT, parameter c), castrated males were different from intact males ($p < 0.06$; Table 6).

Irrespective of sex, when the stomachs reach the maximum weight in the evaluated period, rumen-reticulum stood for 74.1 ± 0.871 % STO, and abomasum stood for 17.2 ± 0.721 % STO (Table 6).

Considering the evaluated period, in general rumen-reticulum and LI increased their percentage in relation to EBW and GIT, while abomasum and SI decreased their percentage of EBW and GIT, as animal grew (Figure 3 and 4). The inflection point of abomasum (g) growth curve occurred at 0.5 months and had maximum growth rate of 0.312 ± 0.062 , while the inflection point of rumen-reticulum (g) occurred at 1.43 months and had maximum growth rate of 0.595 ± 0.082 (Table 6).

Table 6 Model that best fit the stomachs growth in grams (g), in proportion of empty body weight (% EBW), in proportion of stomachs (% STO), in proportion of intestines (% IN), and in proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of according to age (months)

Variable	Model	IP (months)	p-value								
			A / a			B / b			C / c		
			F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM
Grams (g)											
Rumen-reticulum (Gompertz; all sexes)	$\hat{y} = (677 \pm 59.6) e^{-(2.34 \pm 0.323)} e^{-(0.595 \pm 0.082) \times \text{Age}}$	1.4	0.17	0.11	0.54	0.27	0.28	0.50	0.14	0.59	0.27
Omasum (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (84.7 \pm 7.51) / (1 + (5.56 \pm 1.23) e^{-(0.631 \pm 0.076) \times \text{Age}})$	2.7	0.40	0.48	0.81	0.48	0.39	0.64	0.13	0.11	0.70
Abomasum (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (169 \pm 17.6) / (1 + (1.15 \pm 0.253) e^{-(0.312 \pm 0.062) \times \text{Age}})$	0.5	0.32	0.27	0.90	0.93	0.63	0.60	0.28	0.11	0.80
% Empty body weight											
Rumen-reticulum (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (2.63 \pm 0.101) / (1 + (1.62 \pm 0.873) e^{-(0.873 \pm 0.201) \times \text{Age}})$		0.25	0.11	0.46	0.29	0.99	0.29	0.31	0.94	0.30
Omasum (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (0.304 \pm 0.011) / (1 + (1.73 \pm 0.564) e^{-(0.876 \pm 0.190) \times \text{Age}})$		0.71	0.43	0.62	0.42	0.78	0.50	0.30	0.57	0.52
Abomasum (Brody)			0.10	0.06	0.79	0.23	0.53	0.36	0.14	0.06	0.24
Female	$\hat{y} = (0.452 \pm 0.057) \times (1 + (0.946 \pm 0.188) e^{-(0.098 \pm 0.038) \times \text{Age}})$										
Castrated male	$\hat{y} = (0.582 \pm 0.043) \times (1 + (0.946 \pm 0.188) e^{-(0.577 \pm 0.254) \times \text{Age}})$										
Intact male	$\hat{y} = (0.593 \pm 0.032) \times (1 + (0.946 \pm 0.188) e^{-(1.116 \pm 0.401) \times \text{Age}})$										
% Stomachs											
Rumen-reticulum (Logistic)			0.47	0.17	0.43	0.19	0.02	0.04	0.31	0.03	0.01
Female and castrated male	$\hat{y} = (74.1 \pm 0.871) / (1 + (0.566 \pm 0.131) e^{-(0.884 \pm 0.169) \times \text{Age}})$										
Intact male	$\hat{y} = (74.1 \pm 0.871) / (1 + (0.014 \pm 0.017) e^{(0.028 \pm 0.122) \times \text{Age}})$										
Omasum (Quadratic)			0.61	0.83	0.80	0.09	0.09	0.88	0.07	0.07	0.82
Female	$\hat{y} = (5.25 \pm 0.448) + (0.545 \pm 0.102) \times \text{Age} - (0.020 \pm 0.006) \times \text{Age}^2$										
Castrated male and intact male	$\hat{y} = (5.25 \pm 0.448) + (1.01 \pm 0.129) \times \text{Age} - (0.059 \pm 0.001) \times \text{Age}^2$										
Abomasum (Brody)			0.59	0.23	0.35	0.36	0.05	0.17	0.22	0.24	0.06
Female	$\hat{y} = (17.2 \pm 0.721) \times (1 + (2.08 \pm 0.638) e^{-(0.722 \pm 0.181) \times \text{Age}})$										
Castrated male	$\hat{y} = (17.2 \pm 0.721) \times (1 + (5.02 \pm 2.88) e^{-(1.144 \pm 0.257) \times \text{Age}})$										
Intact male	$\hat{y} = (17.2 \pm 0.721) \times (1 + (0.434 \pm 0.182) e^{-(0.408 \pm 0.183) \times \text{Age}})$										
% Gastrointestinal tract											
Rumen-reticulum (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (32.8 \pm 1.24) / (1 + (1.24 \pm 0.492) e^{-(0.932 \pm 0.208) \times \text{Age}})$		0.45	0.27	0.64	0.12	0.63	0.11	0.19	0.58	0.86
Omasum (Quadratic)			0.28	0.65	0.57	0.04	0.05	0.94	0.02	0.02	0.72
Female	$\hat{y} = (1.63 \pm 0.271) + (0.337 \pm 0.056) \times \text{Age} - (0.010 \pm 0.003) \times \text{Age}^2$										
Castrated male and intact male	$\hat{y} = (1.63 \pm 0.271) + (0.588 \pm 0.071) \times \text{Age} - (0.033 \pm 0.005) \times \text{Age}^2$										
Abomasum (Quadratic)			0.90	0.06	0.08	0.28	0.06	0.04	0.11	0.14	0.04
Female	$\hat{y} = (10.2 \pm 0.729) - (0.573 \pm 0.106) \times \text{Age} + (0.028 \pm 0.005) \times \text{Age}^2$										
Castrated male	$\hat{y} = (10.3 \pm 0.786) - (0.797 \pm 0.174) \times \text{Age} + (0.052 \pm 0.001) \times \text{Age}^2$										
Intact male	$\hat{y} = (8.55 \pm 0.958) - (0.044 \pm 0.225) \times \text{Age} + (0.002 \pm 0.015) \times \text{Age}^2$										

IP= inflection point; F = Female; CM = Castrated Male; IM = Intact Male.

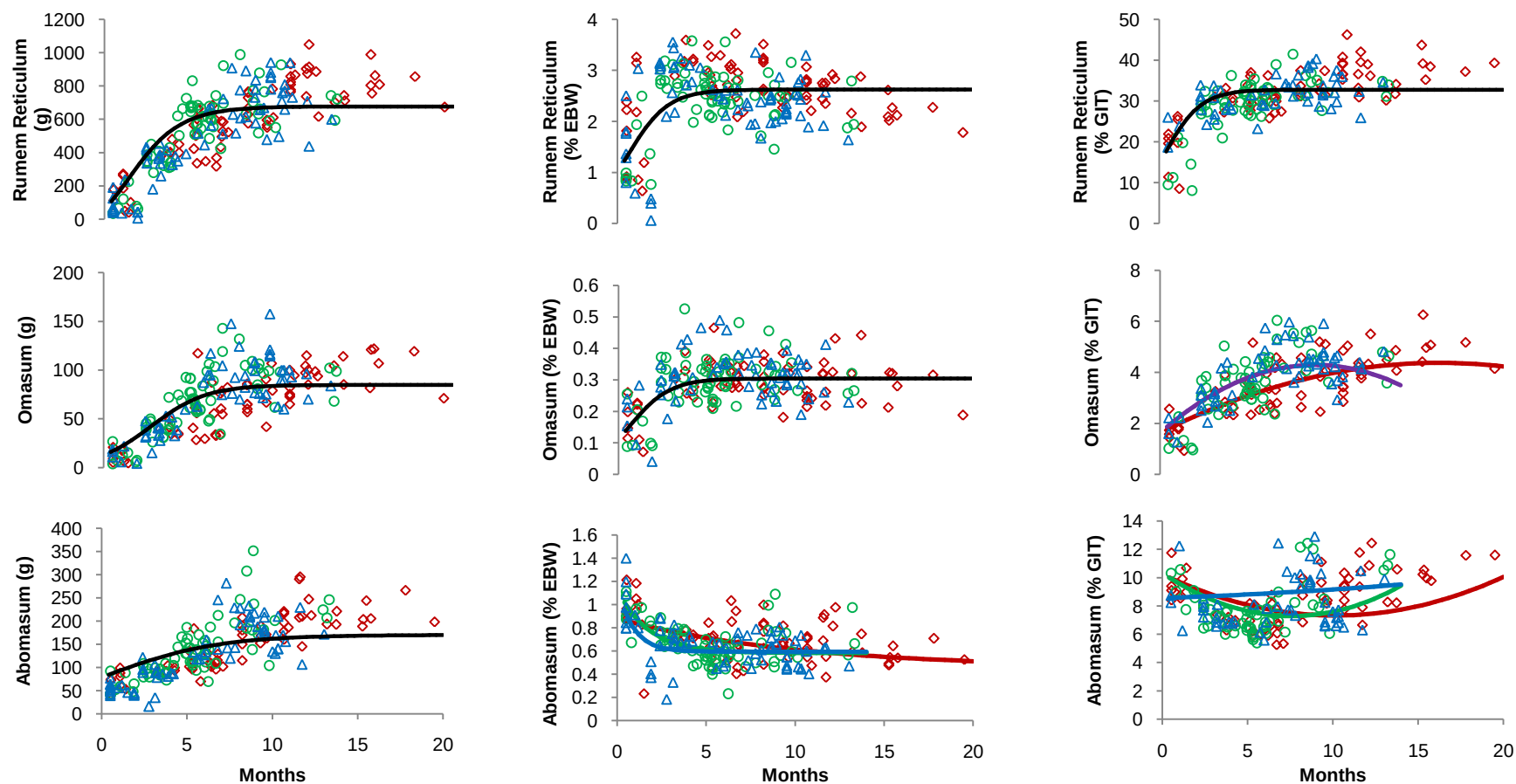


Figure 3 Rumem-Reticulum, omasum and abomasum in grams (g), proportion of empty body weight (% EBW), and proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of different sexes ($\diamond$ represents the observed records of females, $\circ$ castrated males, and $\triangle$ intact males; — represents the predicted females, — castrated males, — intact males, — castrated males and intact males and — all sexes).

GIT growth

Sex did not affect the parameters of models fitting growth of stomachs, SI, LI, intestines and GIT (g); as well as stomachs and GIT (% EBW), SI and LI (% IN), and stomachs, SI, LI, and intestine (% GIT) ($p > 0.10$; Table 7). The parameters of models for predicting growth of SI (% EBW; parameter a), LI (% EBW; parameters b and c), and IN (% EBW; parameter b), were similar between sexes ($p > 0.10$; Table 7).

The parameters of models for predicting SI (% EBW; parameters b and c), were similar between males ($p > 0.30$), however females were different from males ($p < 0.07$; Table 7). The parameter “a” of models for predicting LI and intestines (% EBW) was similar between females and castrated males ($p > 0.26$), however that parameter differed from intact males ($p < 0.09$; Table 7).

When the stomachs and intestines of males and females reached their maximum growth, in the evaluated period, the intestines stood for 55.0 ± 1.73 % of GIT, and the stomachs stood for 44.7 ± 1.79 % GIT (Table 7). The inflection point of SI (g) and LI (g) growth curves occurred at 0.5 and 1.9 months, respectively (Table 7; Figure 4). The maximum growth rate of SI was 0.452 ± 0.092 , which was lower than the maximum growth rate of LI (0.619 ± 0.093 ; Table 7).

Irrespective of sex, the GIT (g) grew at a maximum rate of 0.533 ± 0.075 , and its inflection point of growth curve occurred at 1.4 months (Table 7). At the beginning of the goat's life the GIT stood for 9.14 ± 0.493 % EBW, and as animal grew the GIT decreased (% EBW) at a constant rate of 0.135 ± 0.046 (Table 7).

Table 7 Model that best fit intestine organs growth in grams (g), in proportion of empty body weight (% EBW), in proportion of stomachs (% STO), in proportion of intestines (% IN), and in proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of according to age (months)

Variable	Model	IP (months)	p-value								
			A/a			B/b			C/c		
			F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM	F x CM	F x IM	CM x IM
Grams (g)											
Stomachs (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (921 \pm 76.7) / (1 + (3.174 \pm 0.729) e^{-(0.637 \pm 0.102) \times \text{Age}})$	1.8	0.18	0.14	0.71	0.31	0.45	0.43	0.11	0.11	0.32
Small intestine (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (700 \pm 43.3) / (1 + (1.19 \pm 0.238) e^{-(0.452 \pm 0.092) \times \text{Age}})$	0.5	0.89	0.92	0.97	0.91	0.29	0.38	0.65	0.45	0.89
Large intestine (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (449 \pm 41.8) / (1 + (3.14 \pm 0.604) e^{-(0.619 \pm 0.093) \times \text{Age}})$	1.9	0.40	0.91	0.33	0.47	0.41	0.98	0.33	0.53	0.69
Intestines (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (1140 \pm 75.9) / (1 + (1.60 \pm 0.288) e^{-(0.518 \pm 0.087) \times \text{Age}})$	0.9	0.89	0.84	0.95	0.61	0.31	0.64	0.32	0.43	0.74
Gastrointestinal tract (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (2077 \pm 94.5) / (1 + (2.06 \pm 0.333) e^{-(0.533 \pm 0.075) \times \text{Age}})$	1.4	0.33	0.43	0.85	0.25	0.67	0.35	0.11	0.32	0.23
% Empty body weight											
Stomachs (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (3.55 \pm 0.109) / (1 + (0.540 \pm 0.356) e^{-(0.789 \pm 0.213) \times \text{Age}})$		0.24	0.11	0.42	0.30	0.93	0.30	0.46	0.85	0.58
Small intestine (Quadratic)			0.26	0.45	0.11	0.07	0.07	0.30	0.01	0.01	0.50
Female	$\hat{y} = (4.33 \pm 0.373) - (0.171 \pm 0.059) \times \text{Age} + (0.002 \pm 0.003) \times \text{Age}^2$										
Castrated male and intact male	$\hat{y} = (4.33 \pm 0.373) - (0.387 \pm 0.077) \times \text{Age} + (0.021 \pm 0.005) \times \text{Age}^2$										
Large intestine (Quadratic)			0.62	0.08	0.05	0.67	0.57	0.42	0.74	0.70	0.58
Female and castrated male	$\hat{y} = (1.51 \pm 0.160) - (0.085 \pm 0.028) \times \text{Age} - (0.005 \pm 0.002) \times \text{Age}^2$										
Intact male	$\hat{y} = (1.26 \pm 0.171) - (0.085 \pm 0.028) \times \text{Age} - (0.005 \pm 0.002) \times \text{Age}^2$										
Intestines (Simple regression)			0.26	0.02	0.09	0.71	0.44	0.34			
Female and castrated male	$\hat{y} = (5.76 \pm 0.403) - (0.129 \pm 0.029) \times \text{Age}$										
Intact male	$\hat{y} = (5.34 \pm 0.399) - (0.129 \pm 0.029) \times \text{Age}$										
Gastrointestinal tract (Simple regression; all sexes)	$\hat{y} = (9.14 \pm 0.493) - (0.135 \pm 0.046) \times \text{Age}$		0.20	0.39	0.68	0.62	0.63	0.42			
% Intestines											
Small intestine (Brody; all sexes)	$\hat{y} = (473 \pm 593) \times (1 - (0.859 \pm 0.176) e^{-(0.001 \pm 0.0002) \times \text{Age}})$		0.30	0.80	0.45	0.30	0.65	0.48	0.91	0.99	0.88
Large intestine (Logistic; all sexes)	$\hat{y} = (39.3 \pm 1.83) / (1 + (0.662 \pm 0.140) e^{-(0.601 \pm 0.156) \times \text{Age}})$		0.35	0.34	0.41	0.56	0.48	0.64	0.69	0.69	0.91
% Gastrointestinal tract											
Stomachs (Brody; all sexes)	$\hat{y} = (44.7 \pm 1.79) \times (1 - (0.455 \pm 0.100) e^{-(0.601 \pm 0.155) \times \text{Age}})$		0.11	0.21	0.66	0.44	0.45	0.19	0.51	0.53	0.76
Small intestine (Von Bertalanffy; all sexes)	$\hat{y} = (33.7 \pm 1.60) \times (1 + (0.167 \pm 0.031) e^{-(0.552 \pm 0.124) \times \text{Age}})^3$		0.96	0.66	0.66	0.11	0.19	0.11	0.21	0.80	0.60
Large intestine (Gompertz; all sexes)	$\hat{y} = (21.5 \pm 1.06) e^{-(0.322 \pm 0.113)} e^{-(0.675 \pm 0.289) \times \text{Age}}$		0.17	0.80	0.32	0.84	0.82	0.98	0.78	0.76	0.93
Intestines (Gompertz; all sexes)	$\hat{y} = (55.0 \pm 1.73) e^{(0.268 \pm 0.047)} e^{-(0.503 \pm 0.136) \times \text{Age}}$		0.27	0.32	0.78	0.28	0.49	0.14	0.11	0.29	0.65

IP = inflection point; F = Female; CM = Castrated Male; IM = Intact Male.

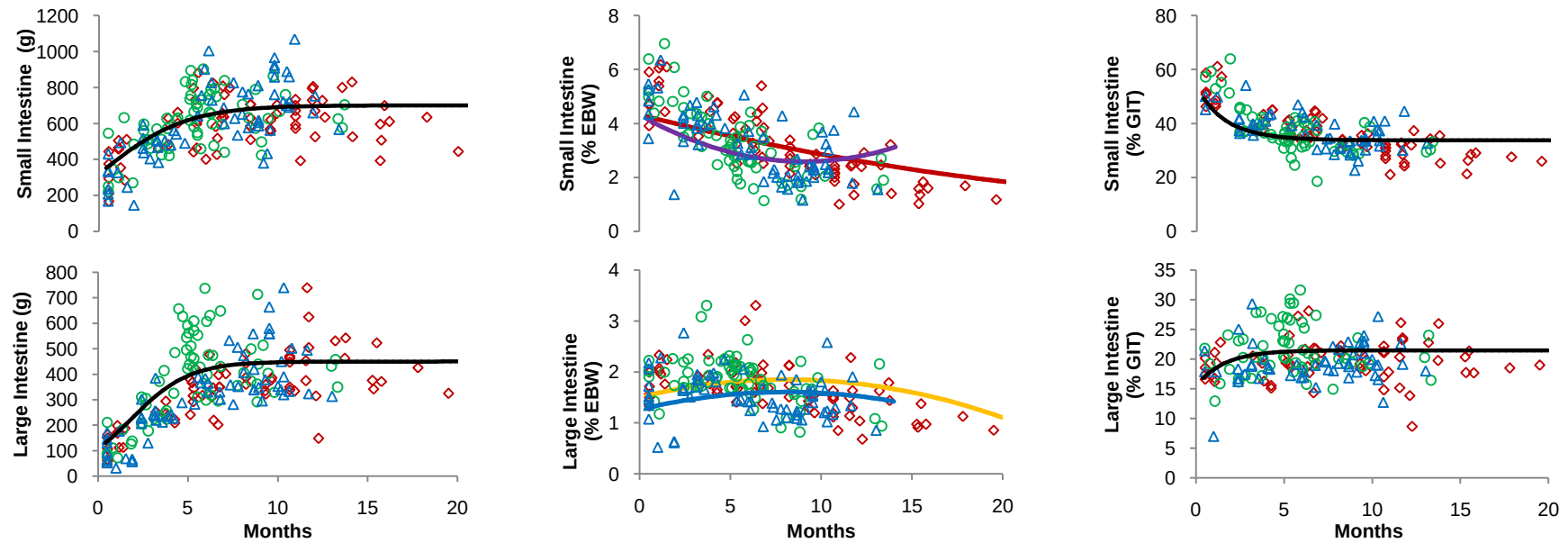


Figure 4 Small intestine and large intestine in grams (g), proportion of empty body weight (% EBW), and proportion of gastrointestinal tract (% GIT) of Saanen goats of different sexes ($\diamond$ represents the observed records of females, $\circ$ castrated males, and $\triangle$ intact males; — represents the predicted females, — intact males, — castrated males and intact males, — females and castrated males, and — all sexes).

Discussion

In general, the logistic model showed the best fit of visceral organs growth. This result is coherent, because at the beginning of their life, animals show greater anabolic rate compared to catabolic rate, resulting in body tissue growth. However with aging the ratio between anabolism and catabolism tends to zero, consequently the rate of tissue growth decreases (Owens et al., 1993). The logistic model assumes that after the inflection point, growth rates tend to decrease with time until reaching stabilization (Verhulst, 1838, Bassanezi, 2002). The inflection point is reached when the instantaneous absolute growth rate (i.e., the change in weight in respect to time) changes from increasing function to a decreasing function (Regadas Filho et al., 2014).

In our study we used goats with BW varying from 5 to 45 kg. The intact and castrated males grew at a greatest rate of females, which lead them to reach the final BW of 45kg faster than females. On average, the adult BW of male Saanen goats varies from 80 to 91 kg and of female Saanen goats is around 68 kg BW (Solaiman, 2010). These show that the BW range covered by our study is representative (i.e., around 50% of growth curve of intact males and around 66% of growth curve of females).

It has been reported that the inflection point of a growth curve represents the puberty (i.e., the stage of sexual maturation), and after it the growth rate decrease quickly until it tends to zero (Araújo et al., 2015). In our study, the inflection point of the BW growth curve occurred at 147 days (4.9 months) for females, at 111 days (3.7 months) for castrated males, and intact males. Thus, Sannen goats reached puberty between 4 and 5 months of age. These results are in accordance with previous reports, such as Freitas et al. (2004), who reported puberty of females Saanen goats at 4.9months old; Solaiman (2010), who reported that the onset on puberty occurs at 4-6 months of age for males and at 5-7 months of age for females; and Regadas Filho et al. (2014), who reported puberty of female Saanen goats at 4.4 months of age. In addition, taking into account the EBW, which is close of animal carcass at slaughter, it was observed that the inflection of intact and castrated males occurred at 4.1 mo whereas females at 5.8 mo. Therefore, as inflection point represents the point in which the growth reaches the maximum rate efficiency (Bassanezi, 2002), we suggest that these inflection points of EBW growth can be a good indicator of the optimum slaughter age.

Our results of visceral organs growth lead us to reject the hypothesis that sexes effects visceral organs growth. Regardless of sexes the visceral organs decrease in proportion of EBW with aging, which suggest that the energy expenditure for visceral organs decrease as the animals became older. This is in accordance with Graham (1966) which reported that young Merino wethers showed metabolic rates two times greater than adults. Morerecently a study showed that energy requirements for maintenance of adult dairy goats also are lower than those found for young goats (Härter et al., 2017). The energy maintenance requirements involve the energy costs of the vital functions of an organism (AFRC, 1998). The visceral organs account for around 10% of the total body weight, however they consume approximately 50% of the total energy expenses of a given animal (Huntington, 1990; Seal and Reynolds, 1993). Then, the knowledge of visceral organs growth curve might be very useful in enhancing the understanding of their impact on energy maintenance requirements. Therefore we suggest that the decrease of maintenance energy requirements in adult goats could be a part related to the decrease of visceral organs size as a proportion of EBW, which is not influenced by animal sex.

All visceral organs grow with the advance of animal age, however, when expressed based on EBW each organ has a different growth profile. Liver and GIT growth are very responsive to nutrient intake (Ortigues e Doreau, 1995) and their weights as a proportion of EBW at the beginning of live means that at this time the nutrient intake related to the EBW size was the greatest. According to Church (1988) the size of the gastrointestinal tract, the absorption capacity of its epithelium and the liver ability to metabolize nutrients, are factors that affect food intake. Younger animals eat more in proportion to BW, they have greater weight of ruminal content so they need to thicken the rumen and large intestine tissue in order to avoid large distension (mechanical effect), thereby increasing the digesta flow (Clauss et al., 2016). In addition, our results of liver weight as a proportion of EBW is in accordance with the literature reports that pre ruminant liver represents a greater percentage of EBW than that of the adult ruminant (Baldwin et al., 2004). However, the sex effect on the liver weight as a proportion of EBW can be related to its feed intake level but this hypothesis still need more studies to be well elucidated.

Our results show that females deposit MAT at a lower rate than intact males and castrated males, however it seems to follow the EBW gain, because when presented as a proportion of EBW there is no differences between sexes. Although it is known that sex is one of the driven force of body fat deposition because of the differences in hormone profile between males (i.e., testosterone) and females (i.e., estrogen; Jacobs et al., 1972; Sahlu et al., 2004), our results of MAT were not able to indicate this tendency. The MAT represents a low portion of abdominal fat and there is no established relationship between MAT measurements and the whole abdominal fat in goats.

As digestion and absorption is facilitated in the first days of live (Guilloteau et al., 2009), the low pancreas weight (%EBW) at this time may be related to the low demand of digestive enzymes and the high SI weight (% EBW) observed may be related to the high absorption capability at this time of live. In accordance, Ruckebusch et al. (1983) reported that the secretory potentialities of the pancreas are minimal during the first week in the newborn lamb and they are mainly influenced by the animal age. In other hand, it was possible to verify the decrease on abomasum participation in EBW concomitantly to the development of RR, omasum and LI with the increase of animal's age. This is related to the transition from pre ruminant to ruminant that occurs with ruminants at the first weeks of live associated to the increase of solid feed intake (Church, 1988). Furthermore, regardless of sexes our results show that goats' RR stabilized its growth in proportion of EBW around 10 mo old, indicating that at this time the RR was completely developed.

It was observed that GIT organs where fermentation occurs (i.e., rumen-reticulum, and large intestine) showed high growth rate at the beginning of goats life and later inflection point compared to abomasum and SI (in grams). Ruminant are born with non-functional forestomachs and as long as they are stimulated with diet solid they face a transition period becoming a functional ruminant. In goat kids this transition period occurs between the 3-4 weeks of life, according to their feeding management, and around the 8th week of life the forestomachs reach the proportional weight they will show at adult life (Church, 1988). Amaral et al. (2005) using Saanen goats kids weaned at 45 days and later slaughtered, showed that the weight of rumen-reticulum and the size of their papillae increased with increasing age of these animals. The goat kids used

in this study started eating effectively solid diet around 30 days of age and increased their dry matter intake afterwards (i.e., substituting milk by solid diet) and milk intake was stopped at 60 days of live. In our study, rumen-reticulum and LI presented high growth rate and the inflection point was at 43 days (6th week) and 55 days (7th week), respectively, indicating that our animals became functional ruminants between 6th and 7th week of life. Thereby, goats kids can be weaned at this stage without damaging animal development, depending on the nutritional management established at the farm, such as the precocious supply of solid feed for that category.

Solving the equations of GIT organs as a proportion of GIT the contribution at begging of live (0.5 mo) of RR, SI, and LI was 18.4%, 72.2%, and 17.1%, respectively; the growth stabilization of RR, SI, and LI was around 10, 4.5, and 13 mo, when they represented, respectively, 32.8%, 33.7% and 21.5% of GIT. The complete development of LI is posterior than RR and it can be related to the type of digestion performed at LI. LI has a significantly fermentation of residual digesta that was not still fermented in the rumen. Therefore as the digestibility of residual digesta that reach the LI is lower than in the rumen, it takes more time to fermentation and consequently influences on LI development.

Similarly to the RR the omasum increased its proportion on GIT, whereas abomasum decreased its proportion in GIT. These changing show very well the transition of goats from pre ruminant to ruminant and the role of each GIT organ in this process. Differences among sexes have been also reported in studies involving retention time of digestain abomasum of Saanen goats from 15 to 30 kg BW (Leite et al., 2015 a, b). However, we do not have a clear explanation that can justify such differences among sexes on omasum and abomasum size and we suggest that more studies need to be performed to better understand it.

Conclusion

In general, the logistic model better described the growth of the visceral organs, especially when evaluated in grams (g).

Sex did not affect the growth (g) of visceral organs, but affected the MAT deposition. However, at % EBW, some organs show differences between the sexes.

The rumen-reticulum and large intestine, which are directly related to solid feed digestion, showed higher growth rates in the first two months of life.

Independent of sex, the visceral organs have high growth rates up to three months of age, evidencing a higher energetic requirement in this initial stage of growth of the animal.

The knowledge of visceral organs growth curve might be very useful in enhancing the understanding of their impact on energy requirements.

Acknowledgments

The authors are thankful to Sao Paulo Research Foundation (FAPESP, Grant #2014/14734-9), and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support.

References

AFRC. 1998. **The Nutrition of Goats**. CAB Int., New York, NY.

Akaike, H., 1974: A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* **19**, 716-723.

Almeida, A. K.; Resende, K. T.; ST-Pierre, N.; Silva, S. P.; Soares, D. C.; Fernandes, M. H. M. R.; Souza, A. P.; Silva, N. C. D.; Lima, A. R. C.; Teixeira, I. A. M. A., 2015: Energy requirements for growth in male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science* **93**, 3932-3940.

Amaral, C.M.C.; Sugohara, A.; Resende, K.T.; Machado, M.R.F.; Cruz, C.; 2005: Performance and ruminal morphologic characteristics of Saanen kids fed ground, pelleted or extruded total ration. *Small Ruminant Research* **58**, 47-54.

Araujo, R. P.; Vieira, R. A. M.; Rocha, N. S.; Abreu, M. L. C.; Glória, L. S.; Rohem Júnior, N. M.; Fernandes, A. M., 2015: Long-term growth of body, body parts and composition of gain of dairy goat wethers. *Journal of Agricultural Science* **153**, 1321-1340.

Baldwin, R. L.; McLeod, K. R.; Klotz, J. L.; and Heitmann, R. N.; 2004: Rumen Development, Intestinal Growth and Hepatic Metabolism In The Pre and Postweaning Ruminant. *Journal of Dairy Science* **87**, E55–E65.

Bassanezi, R. C. B.; 2002: **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. Editora contexto. 392p.

Bompadre, T. F. V.; Neto, O. B.; Mendonça, A. N.; Souza, S. F.; Oliveira, D.; Fernandes, M. H. M. R.; Harter, C. J.; Almeida, A. K.; Resende, K. T.; and Teixeira, I. A. M. A., 2014: Energy requirements in early life are similar for male and female goat kids. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* **27**, 1712-1720.

Brody, S., 1945: **Bioenergetics and Growth**. With Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals. Reinhold Publishing Corporation, New York, USA.

Church, D. C., 1988: **The ruminant animal digestive physiology and nutrition**. 3rd edn. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

Clauss, M.; Stewart, M.; Price, E.; Pelson, A.; Savage, T.; Van Ekris, I.; and Munn, A.; 2016: The effect of feed intake on digesta passage, digestive organ fill and mass, and digesta dry matter content in sheep (*Ovis aries*): Flexibility in digestion but not in water reabsorption. *Small Ruminant Research* **138**, 12-19.

Draper, N. R. and Smith, R.; 1998: **Applied Regression Analysis**. 3rd edition. Wiley, 736p.

Ferreira, A. C. D.; Yanez, E. A.; Medeiros, A. N.; Resende, K. T.; Pereira Filho, J. M.; Fernandes, M. H. M. R.; Almeida, A. K.; Teixeira, I. A. M. A. 2015. Protein and energy requirements of castrated male Saanen goats. *Small Ruminant Research* **123**, 88-94.

Figueiredo, F. O. M.; Berchielli, T. T.; Resende, K. T.; Gomes, H. F. B.; Almeida, A. K.; Sakomura, N. K.; and Teixeira, I. A. M. A., 2016: Energy requirements for growth of pubertal female Saanen goats. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutri.* **100**, 294-300.

Freitas, V.J.F.; Lopes-Junior, E.S.; Rondina, D.; Salmito-Vanderley, C.S.B.; Salles, H.O.; Simplício, A.A.; Baril, G.; Saumande, J.; 2004: Puberty in Anglo-Nubian and Saanen female kids raised in the semi-arid of North-eastern Brazil. *Small Ruminant Research* **53**, 167–172.

Gomes, H. F. B., 2011: Composição corporal e exigências nutricionais de caprinos Saanen machos dos 30 Kg aos 45 kg. Thesis (PhD in animal science) - São Paulo State University, Brasil.

Gompertz, B., 1825: On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new method of determining the value of life contingencies. *Philosophical transactions of the Royal Society* **36**, 513-585.

Gous, R. M.; Moran, E. T.; Stilborn, H. E.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C., 1999: Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry science* **78**, 812-821.

Graham, N. McC, 1966: The metabolic rate of fasting sheep in relation to total and lean body weight, and the estimation of maintenance requirements. *Aust. J. Agric. Res.* **18**, 127-136.

Guilloteau, P.; Zabielski, R.; Blum, J. W.; 2009: Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations. *Journal of Physiology and Pharmacology* **60 (3)**, 37-46.

Härter, C. J.; Lima, L. D.; Castagnino, D. S.; Silva, H. O.; Figueiredo, F. O. M.; St-Pierre, N. R.; Resende, K. T.; and Teixeira, I. A. M. A; 2017: Net mineral requirements of dairy goats during pregnancy. *Animal online*, 1-9.

Huntington, G. B., 1990: Energy metabolism in the digestive tract and liver of cattle: Influence of physiological state and nutrition. *Reproduction Nutrition Development* **30**, 35-47.

Jacobs, J. A.; Botkin, M. P.; Kaltenba, C. C.; Field, R. A.; Riley, M. L., 1972: Effects of testosterone enanthate on lamb carcass composition and quality. *Journal of Animal Science* **34**, 30-45.

Leite, R. F.; Krizsan, S. J. ; Figueiredo, F. O. M. ; Carvalho, V. B. ; Teixeira, I. A. M. A. ; Huhtanen, P., 2015a: Contribution of different segments of the gastrointestinal tract to digestion in growing Saanen goats. *Journal of Animal Science* **95**, 1-13.

Leite, R. F.; Krizsan, S. J.; Figueiredo, F. O. M.; Carvalho, V. B.; Teixeira, I. A. M. A.; Huhtanen, P.; 2015: Retention time of digesta in the gastrointestinal tract of growing Saanen goats. *Journal of Animal Science* **93**, 3969-3978.

Lin, L. I.-K., 1989: A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* **45**, 255-268.

Medeiros, A. N.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A.; Araujo, M. J.; Yanez, E. A.; and Ferreira, A. C. D., 2014: Energy requirements for maintenance and growth of male Saanen goat kids. *Asian-Australasian. Journal of Animal Science* **27**, 1293-1302.

Mitscherlich, E. A., 1909: The law of the minimum and the law of diminishing soil productivity (In German). *Landwirtschaftliches Jahrbucher* **38**, 537-552.

Ortigue, I and Doreau, M; 1995: Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in intake: absorption of digestion end products, tissue mass, metabolic activity and implications to whole animal energy metabolism. *Ann Zootech* **44**, 321-346.

Owens, F. N.; Dubeski, P.; Hanson, C. F., 1993: Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science* **71**, 3138-3150.

Owens, F. N.; Gill, D. R.; Secrist, D. S.; Coleman, S. W., 1995: Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* **73**, 3152-3172.

Regadas Filho, J. G. L.; Tedeschi, L. O.; Rodrigues, M. T.; Brito, L. F.; Oliveira, T. S., 2014: Comparison of growth curves of two genotypes of dairy goats using nonlinear mixed models. *Journal of Agricultural Science* **152**, 829-842.

Richards, F. J., 1959: A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* **10**, 290-301.

Ruckebusch, Y.; Dardillat, C.; Guilloteau, P.; 1983: Development of digestive functions in the newborn ruminant. *Annales de Recherches Vétérinaires* **14 (4)**, 360-374.

Sahlu, T.; Goetsch, A. L.; Luo, J.; Nsahlai, I. V.; Moore, J. E.; Galyean, M. L.; Owens, F. N.; Ferrell, C. L.; Johnson, Z. B., 2004: Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research* **53**, 191-219.

Seal, C. J.; Reynolds, C. K., 1993: Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutrition Research Reviews* **6**, 185-208.

Solaiman, S. G.; 2010: **Goat science and production**. Wiley-Blackwell, 444p.

Stewart, J., 2013: **Cálculo, volume I**. 7th edn. Cengage Learning, University of Toronto, CAN.

St-Pierre, N.R., 2001: Invited review: integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* **84**, 741-755.

Sugiura, N., 1978: Further analysis of the data by Akaike's Information Criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics, Theory and Methods* **A7**, 13-26.

Tedeschi, L. O., Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. D.; 2002: Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *J. Anim. Sci.* **80**, 1671-1682.

Verhust, P. F., 1838: Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondences Mathématiques et Physiques* **10**, 113-121.

Von Bertalanffy, L., 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology* **32**, 217-231.

Wardrop, I.D. and Coombe, J.B., 1960: 'The post-natal growth of the visceral organs of the lamb I. The growth of the visceral organs of the grazing lamb from birth to sixteen weeks of age'. *The Journal of Agricultural Science* **54**, 140-143.

Appendix 1

Table A 1 Summary of statistics related to organs in grams (g) of Saanen goats used in this study.

Variables	N ¹	Mean	Median	Minimum	Maximum	Standard Error
Gomes (2011)						
Body weight (kg)	18	36.7	36.2	28.5	46.2	1.4
Empty body weight (kg)	18	30.7	28.6	22.4	40.2	1.5
Liver	18	578.5	540.0	420.0	789.8	30.6
Pancreas	18	57.1	50.0	30.0	101.2	5.0
Spleen	18	54.3	50.0	30.0	84.0	3.6
Mesenteric adipose tissue	18	465.8	400.0	260.0	915.0	47.1
Rumen-reticulum	18	775.4	746.4	660.0	942.4	20.3
Omasum	18	95.4	96.5	60.0	157.5	5.9
Abomasum	18	168.5	165.0	130.0	219.5	5.8
Small intestine	17	794.6	760.5	610.0	1069.0	30.7
Large intestine	17	456.4	410.0	320.0	740.0	30.3
Bompadre et al. (2014)						
Body weight (kg)	55	10.1	10.1	4.2	16.7	0.6
Empty body weight (kg)	53	8.6	8.4	3.9	13.7	0.4
Liver	55	221.7	206.1	92.9	379.7	11.4
Pancreas	55	17.6	16.4	6.3	37.1	1.2
Spleen	55	20.9	21.4	7.9	38.3	1.0
Mesenteric adipose tissue	55	89.1	89.1	8.7	217.7	7.6
Rumen-reticulum	53	189.6	178.9	6.2	433.3	19.2
Omasum	42	24.3	21.4	4.0	72.1	2.5
Abomasum	54	66.7	63.3	15.8	109.9	3.3
Small intestine	49	402.0	430.5	146.0	633.0	18.2
Large intestine	54	166.2	156.6	32.2	413.8	13.0
Medeiros et al. (2014)						
Body weight (kg)	23	12.8	12.4	5.0	20.8	13.4
Empty body weight (kg)	23	11.1	10.6	4.9	17.5	10.7
Liver	20	289.3	279.8	109.7	464.3	26.4
Pancreas	20	21.2	20.2	6.2	38.0	2.6
Spleen	20	29.9	33.8	10.1	43.5	2.4
Mesenteric adipose tissue	19	255.4	268.5	49.8	486.7	32.6
Rumen-reticulum	0	-	-	-	-	-
Omasum	0	-	-	-	-	-
Abomasum	0	-	-	-	-	-
Small intestine	0	-	-	-	-	-
Large intestine	0	-	-	-	-	-

Cont. Table A 1

Variables	N ¹	Mean	Median	Minimum	Maximum	Standard Error
Almeida et al. (2015)						
Body weight (kg)	47	38.2	38.9	27.3	47.3	0.9
Empty body weight (kg)	47	32.0	32.4	21.3	39.7	0.8
Liver	47	709.4	729.5	431.2	945.2	16.7
Pancreas	44	72.1	72.5	27.5	105.8	2.7
Spleen	46	69.0	67.5	42.0	103.3	2.2
Mesenteric adipose tissue	46	968.3	946.2	351.3	1850.8	51.1
Rumen-reticulum	47	729.6	732.0	478.0	988.5	18.0
Omasum	47	98.5	99.5	41.8	147.5	2.9
Abomasum	47	214.5	207.5	138.3	351.8	6.2
Small intestine	45	643.0	630.9	380.0	866.1	18.0
Large intestine	46	417.9	394.2	147.9	738.8	16.4
Ferreira et al. (2015)						
Body weight (kg)	18	30.3	30.6	27.2	33.9	0.6
Empty body weight (kg)	18	25.9	25.8	20.5	30.3	0.6
Liver	18	564.7	552.8	302.5	712.6	22.2
Pancreas	0	-	-	-	-	-
Spleen	0	-	-	-	-	-
Mesenteric adipose tissue	0	-	-	-	-	-
Rumen-reticulum	18	622.5	629.3	503.7	832.6	20.9
Omasum	17	73.8	68.8	57.3	106.3	3.7
Abomasum	18	134.8	140.7	69.8	186.9	6.6
Small intestine	17	663.6	664.6	460.0	895.7	30.2
Large intestine	18	556.7	557.8	428.2	738.4	19.0
Leite et al. (2015)						
Body weight (kg)	58	23.3	22.7	14.8	34.0	0.8
Empty body weight (kg)	58	18.6	17.8	11.5	27.3	0.7
Liver	58	474.8	452.5	308.3	725.7	14.1
Pancreas	58	46.3	45.5	21.5	82.4	2.0
Spleen	57	45.0	45.4	22.6	76.7	1.7
Mesenteric adipose tissue	56	350.2	302.9	105.2	794.2	22.2
Rumen-reticulum	57	508.8	500.9	327.7	696.7	14.6
Omasum	58	61.9	57.0	31.0	119.2	3.0
Abomasum	58	113.1	108.8	79.6	183.5	3.1
Small intestine	57	661.9	643.6	425.4	1005.0	17.8
Large intestine	58	317.7	317.0	206.4	478.1	9.3
Figueiredo et al. (2016)						
Body weight (kg)	18	36.7	36.8	28.2	44.7	1.5
Empty body weight (kg)	18	30.4	30.3	20.8	39.2	1.6
Liver	18	572.3	564.1	390.0	760.0	21.4
Pancreas	17	64.9	61.8	45.0	100.3	3.5
Spleen	18	67.0	65.1	20.0	92.9	4.5
Mesenteric adipose tissue	16	998.9	880.0	510.0	1732.8	96.2
Rumen-reticulum	18	801.6	791.0	575.0	1050.0	28.7
Omasum	17	78.4	81.5	56.8	100.0	3.2
Abomasum	18	185.2	187.5	115.0	220.8	6.9
Small intestine	18	596.0	593.4	392.1	734.0	23.5
Large intestine	15	441.1	446.5	333.6	625.0	21.6

¹Total number of records after removed from outliers used in this study

Appendix 2

Table A 2 Comparison of models for predicting growth of visceral organs (g) of Saanen goats

Variable	Simple regression (Eq. 1)		Quadratic (Eq. 2)		Monomolecular (Eq. 3)		Brody (Eq. 4)		Von Bertalanffy (Eq. 5)		Logistic (Eq. 6)		Gompertz (Eq. 7)		Richards (Eq. 8)	
	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC
Body weight	8466.1	0.7713	7339.9	0.8189	7646.4	0.8682	7524.0	0.8562	7468.2	0.8704	7296.8	0.8763	7374.3	0.8726	8804.1	0.8381
Empty body weight	6610.1	0.7592	7982.3	0.7979	7044.6	0.8513	6914.4	0.8376	6865.1	0.8314	6657.9	0.8572	6864.9	0.8538	11287.3	0.8491
Empty body weight metabolic	3237.7	0.7265	3197.9	0.7918	3251.7	0.8113	3186.2	0.8281	3186.8	0.8355	3184.1	0.8353	3185.4	0.8336	3348.5	0.8119
Liver	2768.4	0.5523	2732.3	0.7039	2741.6	0.7433	2733.6	0.7348	2730.7	0.7433	2726.8	0.7539	2729.4	0.7456	2735.3	0.5877
Pancreas	1691.0	0.6141	1677.6	0.7164	1671.2	0.7396	1676.2	0.7283	1672.7	0.7487	1669.5	0.7580	1671.6	0.7541	1678.6	0.7540
Spleen	1636.7	0.6614	1633.1	0.7456	1643.9	0.7473	1627.5	0.7433	1627.6	0.7440	1628.1	0.7349	1627.7	0.7652	1633.5	0.7369
Mesenteric adipose tissue	2792.1	0.5898	2783.5	0.5802	2765.1	0.6506	2769.4	0.6730	2760.5	0.7046	2753.9	0.7043	2758.0	0.7077	2767.8	0.7068
Rumen-reticulum	2548.9	0.4970	2494.8	0.7074	2499.4	0.7969	2501.1	0.7996	2496.8	0.7988	2495.5	0.7871	2495.7	0.7961	2500.9	0.7929
Omasum	1709.7	0.4311	1674.7	0.5337	1680.6	0.6816	1685.7	0.3764	1678.6	0.7053	1674.2	0.7054	1676.9	0.7074	-	-
Abomasum	2022.3	0.3485	2015.4	0.4575	2032.4	0.1987	2016.5	0.2674	2016.1	0.5267	2015.1	0.5345	2015.9	0.5296	-	-
Stomachs	2446.5	0.4535	2404.7	0.6573	2412.0	0.7231	2410.8	0.7173	2408.0	0.7525	2405.9	0.7093	2407.1	0.7169	-	-
Small intestine	2481.3	0.2613	2455.0	0.5586	2475.1	0.4836	2460.2	0.5645	2459.3	0.5689	2457.6	0.5751	2458.9	0.5708	2469.2	0.5707
Large intestine	2425.6	0.2959	2394.4	0.5915	2394.5	0.6677	2398.6	0.6517	2396.1	0.6633	2393.0	0.6735	2395.1	0.6673	2402.0	0.6672
Intestines	2565.6	0.3352	2528.0	0.6385	2545.6	0.6887	2534.0	0.6780	2532.3	0.6842	2529.4	0.6921	2531.5	0.6868	-	-
Gastrointestinal tract	2566.5	0.4343	2520.9	0.6993	2533.6	0.7369	2525.2	0.7270	2523.2	0.7311	2520.0	0.7340	2522.5	0.7333	2685.4	0.7670
Visceral organs	2407.3	0.5315	2365.8	0.7030	2387.7	0.7349	2379.4	0.7251	2364.2	0.7267	2360.0	0.7201	2376.6	0.7354	-	-

Chosen models, in bold; -, Model did not converge; AICc, Akaike information criterion corrected for small samples; CCC, concordance correlation coefficient.

Appendix 3

Table A 3 Comparison of models for predicting growth of visceral organs (% EBW, or % STO, or % IN, or % GIT) of Saanen goats

Variable	Simple regression (Eq. 1)		Quadratic (Eq. 2)		Monomolecular (Eq. 3)		Brody (Eq. 4)		Von Bertalanffy (Eq. 5)		Logistic (Eq. 6)		Gompertz (Eq. 7)		Richards (Eq. 8)	
	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC	AICc	CCC
% Empty Body weight																
Liver	163.1	0.4089	156.4	0.4177	187.2	0.043	179.2	0.3179	161.2	0.3194	161.2	0.3228	161.3	0.3196	168.2	0.3660
Pancreas	-656.0	0.2409	-662.9	0.2273	-650.7	0.206	-655.1	0.1780	-655.2	0.1802	-655.2	0.1845	-655.2	0.1813	-648.3	0.1813
Spleen	-582.1	0.1787	-584.0	0.0130	-566.0	0.015	-583.3	0.2140	-583.2	0.2142	-583.2	0.2147	-583.2	0.2144	-568.8	0.2144
Mesenteric adipose tissue	384.1	0.3858	384.1	0.4094	391.4	0.203	377.6	0.4524	377.4	0.4448	377.4	0.4197	377.4	0.4403	377.4	0.2770
Rumen-reticulum	398.9	0.0527	371.1	0.2999	354.5	0.414	355.6	0.4219	354.6	0.4291	352.7	0.4428	354.1	0.4326	361.0	0.4323
Omasum	-449.8	0.1033	-479.6	0.3558	-475.0	0.436	-476.2	0.4069	-477.4	0.4164	-479.7	0.4319	-478.0	0.4207	-	-
Abomasum	-146.8	0.2360	-156.3	0.4503	-127.2	0.000	-175.0	0.4679	-174.8	0.4720	-154.1	0.4565	-174.6	0.4558	-	-
Stomachs	393.4	0.0022	383.7	0.1099	377.8	0.185	381.3	0.1940	381.0	0.1962	380.7	0.2016	380.9	0.1979	-	-
Small intestine	447.9	0.4816	440.7	0.5854	474.2	0.090	443.5	0.4588	443.5	0.4712	443.4	0.4629	443.4	0.4615	449.5	0.4614
Large intestine	220.7	0.2169	219.7	0.2035	223.5	0.090	221.5	0.0350	222.3	0.0349	222.2	0.0347	221.5	0.0349	227.9	0.0349
Intestines	536.5	0.4266	538.3	0.4466	554.0	0.019	540.4	0.4007	540.6	0.4002	541.9	0.3884	540.8	0.3996	547.5	0.4006
Gastrointestinal tract	615.4	0.3147	619.0	0.2894	623.7	0.018	621.2	0.3080	621.2	0.3058	622.8	0.0199	626.0	0.0198	635.2	0.0198
Visceral organs	567.2	0.2256	570.7	0.2038	577.0	0.062	579.6	0.2193	573.7	0.2000	579.5	0.0096	579.5	0.0096	-	-
% Stomachs																
Rumen-reticulum	1173.0	0.1156	1141.2	0.3772	1138.4	0.419	1112.3	0.4944	1111.8	0.4969	1108.6	0.5013	1111.6	0.4980	1116.2	0.3904
Omasum	725.2	0.2085	709.7	0.5104	729.1	0.378	712.0	0.4016	711.4	0.4047	710.6	0.4089	711.2	0.4060	718.2	0.4059
Abomasum	1181.0	0.0390	1135.6	0.5480	1203.9	0.000	1097.0	0.6535	1098.5	0.6451	1101.8	0.6271	1099.3	0.6401	1098.1	0.5879
% Intestines																
Small intestine	1223.8	0.2246	1213.3	0.2044	1237.3	0.000	1209.9	0.2150	1210.1	0.2244	1210.4	0.1644	1210.2	0.1598	1214.1	0.1560
Large intestine	1223.8	0.2445	1213.3	0.4312	1225.7	0.223	1209.3	0.4335	1209.3	0.4355	1209.3	0.4384	1209.3	0.4241	1211.9	0.4363
% Gastrointestinal tract																
Rumen-reticulum	1017.2	0.4296	997.2	0.6173	981.5	0.556	981.2	0.4219	980.7	0.5917	979.7	0.5894	980.4	0.5374	984.3	0.5528
Omasum	429.9	0.2085	403.7	0.5104	418.4	0.378	408.6	0.4016	407.7	0.4047	407.2	0.4089	407.4	0.4060	414.4	0.4059
Abomasum	585.7	0.0443	557.2	0.1270	586.7	0.000	562.5	0.0935	562.8	0.098	563.4	0.0742	562.9	0.0965	566.9	0.1132
Stomachs	1065.0	0.4311	1053.0	0.5714	1062.4	0.352	1044.0	0.4948	1044.1	0.4948	1044.3	0.4919	1044.2	0.4424	1044.4	0.6039
Small intestine	1079.2	0.0050	1056.6	0.6301	1103.9	0.000	1076.4	0.4039	1040.9	0.5395	1042.1	0.4861	1041.2	0.3212	1042.2	0.4357
Large intestine	950.3	0.0020	951.1	0.0559	952.6	0.000	949.5	0.0895	949.4	0.0874	948.2	0.0901	947.6	0.0881	954.7	0.0880
Intestines	1065.7	0.4114	1053.0	0.5103	1086.5	0.000	1045.5	0.3644	1045.6	0.4131	1045.8	0.4191	1045.6	0.4144	1051.4	0.4343

Chosen models, in bold; -, Model did not converge; AICc, Akaike information criterion corrected for small samples; CCC, concordance correlation coefficient.

Appendix 4

Table A 4 Comparison to choose the best modeled variance model (in bold) of model choose for predicting growth of visceral organs (g) of Saanen goats using Akaike information criterion corrected for small samples (smaller the better)

Variable	V0	V1	V2	V3
Body weight	7297.2	4608.6	4584.1	4520.8
Empty body weight	6657.8	4528.6	4482.4	4423.1
Empty body weight metabolic	3177.9	3178.4	3151.7	3128.8
Liver	2719.8	2719.8	2700.5	2671.5
Pancreas	1660.5	1660.5	1765	1573.6
Spleen	1631.9	1631.9	1628.1	1613.1
Mesenteric adipose tissue	2745.7	2746.2	2598.7	2573.5
Rumen-reticulum	2494.3	2494.3	2489.5	2476.9
Omasum	1674.5	1674.5	1668.1	1641.1
Abomasum	2009.2	2009.2	1989.3	1975.7
Stomachs	2403.9	2403.8	2400.2	2387.5
Small intestine	2447.5	2447.5	2449.3	2437.1
Large intestine	2387.3	2387.3	2365.6	2356.9
Intestines	2520.9	2520.9	2520.3	2507.3
Gastrointestinal tract	2514.1	2513.9	2512.2	2497.3
Visceral organs	2372.6	2355.9	2344.5	2333.8

V0, previously the variance modeled; V1 = (σ_e^2) ; V2 = $(\sigma_e^2) \exp(c \times \text{age})$; and V3 = $(\sigma_e^2) \times \mu^{2\phi}$.

Appendix 5

Table A 5 Comparison to choose the best modeled variance model (in bold) of model choose for predicting growth of visceral organs (% EBW, or % STO, or % IN, or % GIT) of Saanen goats using Akaike information criterion corrected for small samples (smaller the better)

Variable	V0	V1	V2	V3
% Empty Body weight				
Liver	155.6	155.6	142.8	136.5
Pancreas	-656.4	-656.4	-655.8	-647.3
Spleen	-575.9	-575.9	-570.3	-570.2
Mesenteric adipose tissue	379.2	379.2	333.5	340.4
Rumen-reticulum	349.0	349.0	321.9	317.6
Omasum	-489.0	-489.0	-490.0	-486.0
Abomasum	-173.9	-173.9	-177.2	-177.0
Stomachs	375.4	375.4	367	353.4
Small intestine	436.6	436.6	426.6	420.1
Large intestine	230.6	230.6	227.1	220.6
Intestines	532.8	532.8	530.5	528.8
Gastrointestinal tract	615.0	615	616.8	613.4
Visceral organs	576.0	574.5	575.7	571.3
% Stomachs				
Rumen-reticulum	1107.0	1107.0	1035.9	1045.6
Omasum	702.2	702.2	704.3	692.2
Abomasum	1095.1	1095.1	1016.1	979.1
% Intestines				
Small intestine	1221.9	1221.9	1223.8	1217.2
Large intestine	1197.8	1197.8	1198.8	1193.0
% Gastrointestinal tract				
Rumen-reticulum	989.6	989.6	989.1	969.7
Omasum	398.1	398.1	400.2	395.0
Abomasum	557.2	557.2	559.3	555.2
Stomachs	1042.2	1042.2	1042.3	1029.1
Small intestine	1043.0	1043.0	1037.7	1024.8
Large intestine	938.9	938.9	940.9	945.1
Intestines	1041.1	1041.1	1041.1	1028.9

V0, previously the variance modeled; V1 = (σ_e^2) ; V2 = $(\sigma_e^2) \exp(c \times \text{age})$; and V3 = $(\sigma_e^2) \times \mu^{2\phi}$.