

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

ANA CAROLINA BARROS DE FREITAS

**EFICIÊNCIA E COMPORTAMENTO ALIMENTAR DE OVINOS ALIMENTADOS EM
COCHOS ELETRÔNICOS**

Campos dos Goytacazes

2018

ANA CAROLINA BARROS DE FREITAS

EFICIÊNCIA E COMPORTAMENTO ALIMENTAR DE OVINOS ALIMENTADOS EM
COCHOS ELETRÔNICOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciência Animal, na área de Produção, Reprodução e Saúde Animal.

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Celia Raquel Quirino

CO-ORIENTADOR: Dr. Ricardo Lopes Dias da Costa

CO-ORIENTADORA: Dr.^a Rosemary Bastos

Campos dos Goytacazes

2018

ANA CAROLINA BARROS DE FREITAS

EFICIÊNCIA E COMPORTAMENTO ALIMENTAR DE OVINOS ALIMENTADOS EM
COCHOS ELETRÔNICOS

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Ciência Animal, na Área de Concentração de Produção, Reprodução e Saúde Animal.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Renato Travassos Beltrame (Doutor, Ciência Animal) - UNESC

Prof. Dr.^a Rosemary Bastos (Doutora, Fisiologia) - UENF

Dr. Ricardo Lopes Dias da Costa (Doutor, Ciência Animal) - IZ

Prof.^a Dr.^a Celia Raquel Quirino (Doutora, Ciência Animal) - UENF (Orientadora)

Dedico à minha mãe e Ramon, por
sempre serem meu alicerce.

Com amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe, que sempre foi minha melhor amiga, meu alicerce e que nunca me deixou desanimar diante das dificuldades que apareceram. Com certeza ela foi a maior responsável por eu ter conseguido chegar até aqui.

Agradeço ao meu pai e ao meu irmão, por toda a força e estímulo, mesmo sem muitas vezes expressarem isto verbalmente.

Ao Ramon, que mesmo com a distância e saudade, sempre foi meu melhor amigo. Sempre me estimulava nos piores momentos e vibrava comigo nos melhores.

À Celia, minha querida amiga e orientadora, que é ótima como pessoa e como líder. Sabe como encorajar seus orientados, incentivar as ideias e respeitar as características pessoais e preferências profissionais de cada um.

Ao Ricardo, por todos os ensinamentos, paciência e por ter disponibilizado a ideia e condições para o desenvolvimento do experimento no Instituto de Zootecnia.

Às secretárias da pós-graduação, Jovana e Conceição, pela amizade e por serem profissionais competentes e que sempre tentam ajudar a resolver qualquer tipo de problema que apareça.

Aos amigos que fizeram com que o período em Campos fosse muito mais agradável (Chico, Ângelo, Wilder, Maritza, Carol, André, Luciana, Miguel, Paula, Júnior, Mariana, Júlia, Lucas, Natália e Marcus). Muito obrigada por tudo! Pelas conversas, desabafos, conselhos pessoais e profissionais, festinhas, risadas...

Aos profissionais presentes nas bancas (Ricardo, Renato e Rosemary), pelas considerações importantíssimas e que com certeza acrescentaram muito no trabalho e na minha evolução pessoal e profissional.

Ao Leonardo, seu pai e seus funcionários, que fizeram a instalação das câmeras e emprestaram os animais do experimento.

À UENF, Instituto de Zootecnia e CNPq, por terem proporcionado condições para o desenvolvimento das atividades do doutorado. Ao governo do estado do Rio de Janeiro e à CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação.

...E que precisaria eu dizer, senhores, para mostrar-vos aqui a utilidade da agricultura? Quem provê nossas necessidades? Quem cuida de nossa subsistência? Não é o agricultor? O agricultor, senhores, que, semeando com a mão laboriosa os sulcos férteis dos campos, faz nascer o trigo, o qual, moído por meio de engenhosos aparelhos, transforma-se em farinha e, transportado às cidades, chega depressa às padarias, que com ele preparam o alimento tanto para os pobres como para os ricos. Não é ainda o agricultor que engorda, para nosso sustento, os abundantes rebanhos nas pastagens? Como nos vestiríamos, como nos alimentaríamos, sem o agricultor? Será preciso ir mais longe para encontrar exemplos? Quem já não refletiu sobre a importância desse modesto animal, ornamento de nossos terreiros, que fornece ao mesmo tempo um travesseiro macio para nossos leitos, sua carne suculenta para nossas mesas, além dos ovos? Mas eu não terminaria se tivesse de enumerar um a um os diferentes produtos que a terra bem cultivada, como mãe generosa, prodigaliza a seus filhos...

Gustave Flaubert – Madame Bovary (tradução de Sérgio Duarte)

RESUMO

Para o desenvolvimento de uma ovinocultura sustentável é necessária a integração progressiva entre os três pilares: econômico, social e ambiental. O objetivo deste estudo foi identificar e avaliar as relações entre a eficiência alimentar (inclusive o consumo alimentar residual), eficiência no uso da água, desempenho produtivo, comportamento alimentar, morfometria corporal, testicular e de carcaça de ovinos deslanados da raça Santa Inês e mestiços das raças Santa Inês x Dorper. O estudo foi realizado com 32 ovinos, machos e fêmeas, de três meses de idade, sendo 16 da raça Santa Inês e 16 mestiços 7/8 Dorper x Santa Inês. Nas baias coletivas dos animais havia cochos, bebedouro e balança eletrônicos. As variáveis mensuradas durante o experimento foram: consumo diário de alimento e água, tempo total no cocho e bebedouro e consumindo alimento e água, número de visitas ao cocho e bebedouro; eficiência no uso da água; ingestão de matéria seca em relação ao peso vivo, consumo alimentar residual (CAR), ganho médio diário, peso vivo médio metabólico, eficiência alimentar, taxa de conversão alimentar, taxa de crescimento relativa, razão Kleiber, eficiência parcial de manutenção; altura de cernelha e de garupa, comprimento corporal, perímetro torácico; índices morfométricos de capacidade corporal 1 e 2, corporal, corporal lateral, compacidade, proporcionalidade corporal, anamorfose; altura e largura testicular, circunferência escrotal; altura, largura e área de olho de lombo do músculo *Longissimus dorsi* e espessura de gordura subcutânea. Foram realizadas análises de variância e correlação entre todas as variáveis mensuradas ($p \leq 0.05$). Animais mais eficientes no uso de água também são mais eficientes no uso de alimentos, passam menos tempo consumindo alimento, visitam menos os cochos, têm maior aptidão para produzir carne, são mais robustos e têm maiores medidas testiculares. Para diminuir a eficiência no uso de água na produção de ovinos, é importante aumentar a eficiência alimentar e diminuir o tamanho dos animais. Fêmeas mestiças e machos Santa Inês foram mais eficientes para consumo alimentar residual (CAR negativo) do que machos mestiços e fêmeas Santa Inês. Os animais menos eficientes (CAR positivo) passaram mais tempo em comportamentos alimentares. Machos apresentaram melhor performance de crescimento, foram mais compactos, com maior aptidão para carne e habilidade de acúmulo de músculo do

que as fêmeas. Os mestiços mostraram melhores características reprodutivas, foram mais compactos e mostraram melhor aptidão para carne e habilidade de acúmulo de músculo do que os Santa Inês. A seleção para peso e ganho de peso diário, morfometria e índices corporais, testículos e carcaça deve ser realizada com cautela, pois podem aumentar a ingestão de matéria seca. Esse aumento na ingestão de matéria seca pode aumentar o tamanho e a necessidade de nutrientes destinados à manutenção dos animais.

Palavras-chave: eficiência no uso da água, consumo alimentar residual, *Ovis aries*, performance, seleção, sustentabilidade

ABSTRACT

The development of sustainable sheep industry need the progressive integration of the three pillars: economic, social and environmental. The objective of this study was identify and evaluate the relationships between feed efficiency (including residual food intake), efficiency in water use, productive performance, eating behavior, body, testicular and carcass morphometry of Santa Ines hair breed and Santa Ines x Dorper crossbred sheep. The study was realized with 32 sheep, males and females, with three years old, being 16 Santa Ines purebred and 16 crossbreed 7/8 Dorper x Santa Ines. In the animals collective pens had automatic feed stations, waterer and electronic scale. The traits measured during the study were: daily consumption of food and water, total time at feed station and waterer and consuming food and water, daily visits to the feed station and waterer; dry matter intake in relation to body weight, residual feed intake (RFI), average daily gain, mid-trial metabolic body weight, feed efficiency, feed conversion ratio, relative growth ratio, Kleiber ratio, partial efficiency of maintenance; efficiency in water use; wither and rump height, body length, thoracic perimeter; morphometric indices body capacity 1 and 2, body, compactness, body proportionality, proportionality anamorphosis; testicular length and diameter scrotal circumference; height, length and ribeye area in Longissimus dorsi muscle and subcutaneous fat thickness. Analysis of variance and correlation of all the traits was performed ($p \leq 0.05$). Animals more efficient in water use are more efficient in food use, spend less time consuming food, visit less feed stations, have more aptitude to beef, are more robust and have higher testicular measures. To decrease water consumption and increase the efficiency in water use in sheep production, it is important to increase efficiency in feed use and decrease the size of the animals. Crossbred females and purebred males were more efficient in RFI (negative RFI) than crossbred males and purebred females. Less efficient animals (positive RFI) showed a tendency to spend more time performing feeding behavior. Males expressed best growth performances, were more compact, showed greater aptitude to beef and ability of muscle accumulation than females. Crossbred showed better reproductive traits, were more compact, showed greater aptitude to beef and ability of muscle accumulation than purebred. The

selection for weight and average daily gain, body measures and morphometric indices, testicular and carcass traits should be made with caution, as they increase the dry matter intake. This increase in dry matter intake may increase the size and the need for nutrients destined to the maintenance of the animals.

Keywords: efficiency in water use, *Ovis aries*, performance, residual feed intake selection, sustainability

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Português

- CA – conversão alimentar;
- CAR - Consumo alimentar residual.
- EA – eficiência alimentar;
- GMD – ganho de peso médio diário;
- GPR – ganho de peso residual;
- IMS – ingestão de matéria seca;
- PVF – peso vivo final;
- PVI – peso vivo inicial;
- PVMM – peso vivo médio metabólico;
- RK – razão Kleiber;
- TRC – taxa relativa de crescimento.

Inglês

- ABW - average body weight;
- ADG - average daily gain;
- Ain - anamorphosis indice;
- Bcin - body capacity indice;
- BCin1 - body capacity indice 1;
- BCin2 - body capacity indice 2;
- Bin - body indice;
- BL - body length;
- BPin - body proportionality indice;
- BSin - body side indice;
- BW - body weight;
- Cin - compactness indice;
- DMI - dry matter intake;

DMI/BW - dry matter intake/Body weight;
DMIC - dry matter intake of concentrate;
DMIC/BW - dry matter intake of concentrate/Body weight;
DMIH - dry matter intake of hay;
DMIH/BW - dry matter intake of hay/Body weight;
DVCF - daily visits to the concentrate feeder;
DVHF - daily visits to the hay feeder;
DVW - daily visits to the waterer;
EWU - efficiency in water use;
FCR - feed conversion ratio;
FE - feed efficiency;
G:F - gain:feed ratio;
Hldm - height in *Longissimus dorsi* muscle;
KR - Kleiber ratio;
Lldm - length in *Longissimus dorsi* muscle;
MMBW - mid-trial metabolic body weight;
PEM - partial efficiency of maintenance;
Pin - proportionality indice;
RAldm - ribeye area in *Longissimus dorsi* muscle;
RFI - residual feed intake;
RH - rump height;
RFIEWU - residual feed intake and efficiency in water use;
RG - residual body weight gain;
RGR - relative growth rate;
RIG - residual intake and body weight gain;
RTD - right testicular diameter;
RTL - right testicular length;
SC - scrotal circumference;
SFT - subcutaneous fat thickness;

TP - thoracic perimeter;

TSCF - time spent at concentrate feeder;

TSHF - time spent at hay feeder;

TTCC - total time consuming concentrate;

TTCH - total time consuming hay;

TTCW - total time consuming water;

TWI - total water intake;

TWI/DMI - total water intake/dry matter intake;

TWI/MMBW - total water intake/mid-trial metabolic body weight;

WH - wither height;

WI - water intake from the waterer.

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Ovinocultura.....	18
3.2 Medidas de eficiência alimentar.....	20
3.3 Consumo alimentar residual (CAR).....	24
3.4 Etapas da análise estatística do consumo alimentar residual.....	25
3.5 Desempenho de ovinos	28
3.6 Morfometria corporal.....	28
3.7 Morfometria testicular.....	31
3.8 Avaliação de carcaça.....	32
3.9 Água na produção animal	33
3.10 Comportamento alimentar.....	36
REFERÊNCIAS.....	38
EFFICIENCY IN WATER AND FOOD USE BY ANIMALS FOR A SUSTAINABLE SHEEP INDUSTRY	44
Abstract:.....	44
1 INTRODUCTION.....	45
2 MATERIALS AND METHODS	46
Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.....	47
Table 2: Equation models used in the “multiple linear regression” to estimate water intake for the calculation of efficiency in water use and respective fit as indicated by coefficient of determination (R ²) and bayesian information criteria (BIC).	50
3 RESULTS	50
Table 3: Mean, standard deviation, minimum and maximum of behaviour traits and water measures.....	51

Table 4: Mean, standard deviation, minimum and maximum of performance, testicular parameters, carcass ultrasound (final trial), body morphometric and indices measures.	52
Table 5: Correlation between total water intake (TWI study) and efficiency in water use (EWU) x behavior, water measures, performance traits, body measures and morphometric indices.	54
4 DISCUSSION.....	55
5 CONCLUSION	62
REFERENCES	62
THE INDIVIDUAL FEED INTAKE CAN BE REPLACED BY PERFORMANCE OR MORPHOLOGICAL TRAITS IN SHEEP?	66
Abstract:.....	66
1 INTRODUCTION.....	67
2 MATERIALS AND METHODS	68
Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.	69
3 RESULTS	71
Table 1: Mean, standard deviation, minimum and maximum of productive performance traits, testicular parameters, carcass ultrasound (final trial), body morphometric and indices measures.	72
Figure 1: Correlation between dry matter intake (DMI) and productive performance traits, testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements.	74
4 DISCUSSION.....	74
5 CONCLUSION	79
REFERENCES	79
RELATIONSHIP BETWEEN RESIDUAL FEED INTAKE, PERFORMANCE, MORPHOMETRIC INDICES, CARCASS TRAITS AND FEEDING BEHAVIOR IN SHEEP	83
Abstract:.....	83
1 INTRODUCTION.....	83
2 MATERIALS AND METHODS	85
Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.	86
Table 2: Predictive equation models used to estimate feed intake for the calculation of residual feed intake and respective fit as indicated by coefficient of determination (R ²) and Bayesian information criteria (BIC).....	88
3 RESULTS	89

Table 3: Mean and standard deviation of genetic group and sex for efficiency traits and feeding behavior.....	90
Table 4: Mean and standard deviation of genetic group and sex for testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements.	91
Figure 1: Comparison between means of crossbred females x crossbred males and crossbred females x purebred females.	92
Figure 2: Comparison between means of purebred males x purebred females and purebred males x crossbred males.	93
4 DISCUSSION.....	94
5 CONCLUSION	98
REFERENCES	99
4 CONCLUSÃO	103
ANEXOS	104
ANEXO A – Representação esquemática do local onde os animais ficaram confinados durante o experimento.	104
ANEXO B – Imagens do local do experimento. A: baias onde os animais ficaram durante todo o experimento. B: cocho com concentrado. C: cocho com feno. D: balança eletrônica e bebedouro (sempre que o animal consumia água era pesado).	105

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura é uma alternativa interessante para os diferentes ecossistemas brasileiros, desde que seja explorada racionalmente e em sintonia com aspectos agroecológicos, econômicos e sociais (SIMPLÍCIO et al., 2003). É importante que os produtores percebam que é mais simples, fácil e barato produzir racionalmente utilizando raças adaptadas às condições edafo-climáticas da região onde se encontra a unidade produtiva, do que adequar o ambiente aos animais (SIMPLÍCIO et al., 2003).

Os ovinos das raças Santa Inês e Dorper são uma boa alternativa para a produção de carne no Brasil, pois são adaptados aos diversos sistemas de criação e pastagens e apresentam características produtivas e reprodutivas bastante interessantes (ACCO-SC, 2017). As características positivas de cada raça podem se juntar em um animal através de cruzamentos planejados, visando aumentar a produção e atender a situações específicas do mercado (SANTOS et al., 2016). O cruzamento entre carneiros Dorper e matrizes Santa Inês tem se mostrado uma ótima alternativa, devido à superior produtividade da raça Dorper e das características reprodutivas das fêmeas Santa Inês, que manifestam estro durante todo o ano e demonstram excelente capacidade materna (CARVALHO et al., 2003; YAMAMOTO et al., 2005).

A seleção de animais para a reprodução, visando o melhoramento genético, deve ser guiada pela mensuração e avaliação de algumas características importantes tanto para os sistemas de produção como para o mercado. Os reprodutores e matrizes devem apresentar tipos e padrões desejáveis para o grupo genético, maior longevidade, alta eficiência reprodutiva, conversão eficiente dos alimentos produzidos (carne, leite e lã) e devem ser capazes de transmitir essas características positivas à sua progênie (ARAÚJO FILHO et al., 2007). É vantajoso avaliar os animais logo após a desmama (com aproximadamente três meses de idade), pois a partir das informações geradas é possível realizar o descarte precoce de animais que não apresentem desenvolvimento ou comportamento adequado para o sistema.

A nutrição é o fator que mais influencia o desempenho animal e o mais oneroso em uma produção, podendo ser responsável por cerca de 50 a 65% dos custos de produção (CABRAL et al., 2008). Com isso, devem ser desenvolvidas estratégias para que a utilização de nutrientes da dieta sejam mais eficientes, tendo em vista que a viabilidade econômica de sistemas de produção ovinos está intimamente relacionada ao consumo diário de matéria seca e à eficiência dos animais ao transformar os nutrientes da dieta em tecidos corporais (CABRAL et al., 2008).

O consumo de alimentos e água, o ganho de peso e o comportamento podem ser mensurados, de forma precisa e individual, por equipamentos (COELHO et al., 2012). Após a mensuração dessas variáveis, é possível detectar quais animais apresentam maior eficiência alimentar (quantidade de carne produzida por kg de matéria seca de alimento consumido) e, conseqüentemente, diminuir o custo ambiental e financeiro da atividade pecuária (COELHO et al., 2012). Além disso, os sistemas que aplicam técnicas corretas de manejos nutricional e hídrico, sanitário, e de bem-estar terão um menor consumo de água por ciclo produtivo e, conseqüentemente, menor impacto econômico pelo uso do recurso natural no custo de produção (PALHARES, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi identificar e avaliar as relações entre a eficiência alimentar (inclusive o consumo alimentar residual), eficiência no uso da água, desempenho produtivo, comportamento alimentar, morfometria corporal, testicular e de carcaça de ovinos deslanados da raça Santa Inês e mestiços das raças Santa Inês x Dorper.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Propor duas novas características: eficiência no uso de água e consumo alimentar residual e eficiência no uso da água pelos animais. Após a mensuração dessas variáveis, avaliar as relações entre o total de água ingerida e a eficiência no uso da água com comportamento alimentar, eficiência alimentar, índices morfométricos, características testiculares e de carcaça (ultrassom), para aumentar a sustentabilidade da indústria ovina.

3) Identificar e avaliar as correlações entre a ingestão de matéria seca e as medidas de eficiência alimentar utilizadas usualmente para animais de produção, buscando definir a melhor medida de eficiência alimentar (mais simples e barata) a ser usada sem a necessidade de mensurar o consumo diário de alimento.

2) Identificar e avaliar as relações entre as medidas de eficiência alimentar, inclusive o CAR, com as medidas morfométricas do corpo, testículos e carcaça.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Ovinocultura

Os ovinos são importantes economicamente e socialmente para várias nações ao redor do mundo (NRC, 2006). A produção e o consumo mundial de carne ovina podem aumentar 18% de toneladas equivalente-carcaça entre os anos de 2017 a 2025, de acordo com a projeção da OECD/FAO (2016), sendo que em países em desenvolvimento esse aumento poderá ser de 21%, enquanto em países desenvolvidos o aumento da produção poderá ser de 9% e do consumo 4,5% neste mesmo período.

Os países em desenvolvimento, como o Brasil, demonstram grande potencial para o crescimento da produção e consumo de ovinos, motivados pelo aumento da

população e da renda e por possuírem extensas áreas agrícolas com pastagens naturais e para a produção de grãos (OECD/FAO, 2016).

A intensificação da produção ovina no Brasil tem sido estimulada nos últimos anos pelo governo federal, governos de vários estados, empresários, criadores e associações de criadores para atender a demanda interna desse produto e, posteriormente, gerar excedentes que possam ser destinados ao mercado externo (CABRAL et al., 2008). O incremento na produção depende, entre outros fatores, da escolha de genótipos melhor adaptados às condições climáticas de uma determinada região (FAÇANHA et al., 2013), do melhoramento genético dos animais, da melhoria das condições sanitárias e do manejo nutricional (CABRAL et al., 2008).

A idade, o sexo e o grupo genético são fatores importantes no potencial de ganho de peso e conversão alimentar e, entre as raças deslanadas brasileiras, a Santa Inês tem apresentado melhores ganhos de peso em confinamento (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003). Ela foi desenvolvida no nordeste brasileiro, resultante do cruzamento intercorrente das raças Bergamacia, Morada Nova, Somalis e outros ovinos sem raça definida (ACCO-SC, 2017a). Esta raça possui alto valor adaptativo e reprodutivo, tendo atributos que a colocam em posição estratégica como reserva de diversidade genética para uso em programas de melhoramento genético através da seleção ou cruzamento (SOUSA; LÔBO; MORAIS, 2003).

Os ovinos da raça Santa Inês são deslanados, com pelos curtos e de grande porte, com média de peso para macho de 80 a 120 Kg e para as fêmeas de 60 a 90 Kg (ACCO-SC, 2017). Eles são uma excelente alternativa para a produção de carne devido a características como: bom desenvolvimento ponderal, boa resistência a parasitas gastrintestinais, ótima qualidade de pele (SOUSA; LÔBO; MORAIS, 2003), rusticidade, acentuada habilidade materna, baixa estacionalidade reprodutiva (BUENO et al., 2006), fêmeas prolíferas, excelente qualidade de carne com baixo teor de gordura, adaptabilidade a qualquer sistema de criação e pastagem e às mais diversas regiões do país (ACCO-SC, 2017).

A raça Dorper foi desenvolvida na África do Sul, fruto do cruzamento entre carneiros Dorset Horn com ovelhas Blackhead Persian (Plooy, 1999). Ela foi criada com o propósito de produzir carne de forma mais eficiente possível, sob variadas e mesmo desfavoráveis condições ambientais (ACCO-SC, 2017b).

O ovino Dorper é semi-lanado, apresentando na parte superior do corpo uma mescla de pelo e lã, enquanto na região ventral e membros predominam pelos curtos e lisos (ACCO-SC, 2017b). Possui como aptidões: produção de carne; adaptabilidade; boa habilidade materna; maturidade sexual (o primeiro cio manifesta-se a partir dos 6 meses de idade); prolificidade (o número de cordeiros nascidos por ovelha parida tem variado de 1,1 a 1,7); boa fertilidade (a taxa varia de 75% a 97%); rápido crescimento, atingindo em média na idade adulta peso vivo de 70kg para fêmeas e 110kg para machos (ACCO-SC, 2017b).

Os ovinos exóticos, mais especializados na produção de carne, apresentam melhores desempenhos em confinamento (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003), então o uso de cruzamentos entre raças exóticas e raças naturalizadas brasileiras tem sido proposto como alternativa para combinar produtividade com adaptabilidade nos ambientes do Brasil (EMBRAPA, 1993). Os ovinos Santa Inês e os seus mestiços com raças especializadas evidenciam melhora no ganho de peso em confinamento, devendo-se levar em consideração o tipo da dieta, o grau de exigência dos consumidores em relação à quantidade de gordura na carcaça e a qualidade da pele, no caso de cruzamento com raças exóticas (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003).

O cruzamento de matrizes Santa Inês com reprodutores especializados para produção de carne é indicado para contornar os problemas de uniformidade de carcaça em raças naturalizadas, explorando a complementaridade funcional entre raças (conjugação das características desejáveis de cada uma), além do efeito de heterose, resultando em melhor relação quantidade x qualidade de carne produzida (SANTOS et al., 2016).

3.2 Medidas de eficiência alimentar

A maior fatia dos custos de produção de ovinos em confinamento está atribuída à alimentação, que representa em torno de 65 a 70% das despesas, sendo o concentrado responsável por aproximadamente 52% dos custos totais (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003). Uma solução possível para diminuir os custos com

alimentação e aumentar a produtividade e rentabilidade é a seleção para variáveis relacionadas à eficiência alimentar (COCKRUM et al., 2013).

A eficiência alimentar é um índice referente à quantidade de alimento que será convertida em produção animal, como carne, leite ou outro produto (CASTRO et al. 2007). Alguns fatores são conhecidos por influenciarem a variação nesta eficiência dos animais, entre eles: quantidade e tipo de alimento consumido, raça, condições ambientais, sexo e idade (MAGNANI et al., 2013). Em animais com a mesma idade e submetidos às mesmas condições ambientais, os valores observados para eficiência alimentar estarão relacionados ao alimento utilizado, especificamente ao nível de energia da dieta, mostrando melhores resultados os animais alimentados com dietas de maior densidade energética e menor teor de fibras (CASTRO et al. 2007).

Os animais mais eficientes necessitam ingerir menos alimento para a mesma produção quando comparados a animais menos eficientes e, pelo menor uso dos recursos (mão de obra, áreas de pastagem, alimentos em confinamento e pastagem), os animais mais eficientes são mais lucrativos (GOMES et al., 2012). Os animais mais eficientes também podem gerar menos impacto ambiental na atividade pecuária, uma vez que produzem menos esterco, emitem menor quantidade de gases de efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso e demandam menos áreas para a implantação de pastagens e lavouras (GOMES et al., 2012).

Existem diversas formas de mensurar eficiência alimentar e elas se diferenciam pelas variáveis consideradas nas equações e nas interpretações biológicas. A seguir estão descritas algumas medidas de eficiência alimentar comumente utilizadas para animais de produção, suas equações e interpretações.

A maior parte das equações de eficiência alimentar utiliza a ingestão de matéria seca (IMS) dos alimentos, não a quantidade de alimento ingerido. A IMS é o consumo de alimentos com base no seu peso seco, sendo obtida multiplicando a quantidade consumida de cada ingrediente da ração (concentrado e/ou volumoso), pelo respectivo teor de matéria seca (MS) do ingrediente (GOMES et al., 2012).

IMS = (quantidade de concentrado ingerido x matéria seca do concentrado) + (quantidade de feno ingerido x matéria seca do feno).

Eficiência alimentar bruta (EA)

A eficiência alimentar bruta é a quantidade de peso vivo ganho com a ingestão de 1,0 kg de alimento (em base seca) e quanto maior for o valor de EA, melhor será a eficiência alimentar do indivíduo (GOMES et al., 2012). A medida eficiência alimentar bruta não considera as exigências de manutenção dos animais, fazendo com que animais com boa eficiência alimentar apresentem elevada idade e peso corporal à maturidade, o que não é interessante pensando em melhoramento genético do rebanho (HERD; BISHOP, 2000).

$$EA = GMD/IMS$$

EA = eficiência alimentar bruta. GMD = ganho de peso médio diário (kg). IMS = ingestão de matéria seca (kg).

Conversão alimentar bruta (CA)

A conversão alimentar bruta é a quantidade de alimento que deve ser ingerida para o ganho de 1,0 kg de peso vivo e quanto menor for o valor de CA, melhor a conversão alimentar (GOMES et al., 2012). No passado os produtores selecionavam por taxa de conversão alimentar, mas animais com taxas similares diferem na quantidade ingerida e na taxa de ganho (COCKRUM et al., 2013).

$$CA = IMS/GMD$$

CA = conversão alimentar bruta. IMS = ingestão de matéria seca (kg). GMD = ganho de peso médio diário (kg).

Ganho de peso residual (GPR)

O GMD observado é obtido pela mensuração do ganho de peso médio diário de cada animal durante o período de teste. Já o GMD esperado é determinado para cada animal utilizando-se uma equação matemática criada com base nos dados de ganho de peso médio diário, ingestão de matéria seca e peso vivo da população que está sendo avaliada (GOMES et al., 2012).

A caracterização do peso vivo do animal é realizada por meio de seu peso vivo médio metabólico (PVMM) (GOMES et al., 2012).

$$PVMM = ((PVI+PVF)/2)^{0,75}$$

PVI = peso vivo ao início do teste (kg); PVF = peso vivo ao fim do teste (kg).

O conjunto de dados contendo GMD, IMS e PVMM de cada indivíduo é então utilizado para uma análise chamada “regressão linear múltipla” que irá criar a equação válida para a população avaliada (GOMES et al., 2012).

$$\mathbf{GMDesp = \beta_0 + (\beta_1 \times IMS) + (\beta_2 \times PVMM)}$$

β_0 , β_1 e β_2 serão valores numéricos. IMS = ingestão de matéria seca (kg). GMDesp = ganho de peso médio diário esperado (kg/dia). PVMM = peso vivo médio metabólico (kg).

Assim, além do GMD_{obs} , cada indivíduo terá seu GMD_{esp} , possibilitando, então, o cálculo do GPR (GOMES et al., 2012):

$$\mathbf{GPR (kg/dia) = GMDobs (kg/dia) - GMDesp (kg/dia)}$$

GPR = ganho de peso residual. GMD_{obs} = ganho de peso médio diário observado durante o teste. GMD_{esp} = ganho de peso médio diário esperado.

A variação em GMD seria devido à variação na capacidade de conversão do alimento em peso vivo (GOMES et al., 2012). Valores positivos de GPR indicam maior eficiência, ou seja, se um indivíduo apresenta um $GPR = +0,12$ kg/dia, o seu ganho de peso foi 0,12 kg/dia maior que o esperado para a ingestão de alimentos e o peso vivo apresentados no teste (GOMES et al., 2012).

Taxa relativa de crescimento (TRC)

A TRC pode ser considerada uma característica que expressa melhor o crescimento do que a própria eficiência alimentar e maiores valores de TRC indicam maiores eficiências (GOMES et al., 2012). Por não computar a ingestão de alimentos, a taxa relativa de crescimento pode não detectar diferenças na eficiência da utilização de energia entre indivíduos (NKRUMAH et al., 2004).

$$\mathbf{TRC = 100 \times (\log PV \text{ final} - \log PV \text{ inicial}) \div \text{dias em teste}}$$

TRC = taxa relativa de crescimento. log = logaritmo natural. PV = peso vivo.

Razão Kleiber (RK)

Por não computar a ingestão de alimentos, a razão Kleiber pode não detectar diferenças na eficiência da utilização de energia entre indivíduos (NKRUMAH et al., 2004).

$$\text{TK} = \text{GMD}/\text{PVMM}$$

TK = taxa Kleiber. GMD = ganho de peso médio diário. PVMM = peso vivo médio metabólico.

3.3 Consumo alimentar residual (CAR)

Entre vários índices propostos para avaliar a eficiência no uso de alimentos pelos animais, o mais estudado nos últimos anos é o consumo alimentar residual (MAGNANI et al., 2013). O CAR é uma medida que, além de utilizar informações de ingestão de alimentos e ganho de peso durante um período ou teste, também contabiliza o peso vivo médio metabólico apresentado pelo indivíduo no momento da avaliação com o intuito de corrigir discrepâncias na eficiência devido a possíveis diferenças em peso vivo (GOMES et al., 2012).

O CAR é uma medida que não está relacionada a tamanho, peso vivo ou taxas de ganho dos animais e é resultante da diferença entre a ingestão de matéria seca observado e a ingestão estimada para o animal atender suas necessidades nutricionais de manutenção e crescimento (KOCH et al., 1963). A seleção por CAR deve ser feita, de preferência, no desmame e o status de eficiência alimentar pode ser aplicado por toda a vida do animal (COCKRUM et al., 2013).

O CAR é uma medida de eficiência alimentar, onde um valor mais positivo representa um animal menos eficiente (o consumo observado é maior do que o esperado para determinado nível de produção) e um valor menor revela maior eficiência alimentar (maior diferença entre o consumo predito e o observado de um animal) (PAULA et al., 2013a). Esta medida pode ser utilizada para identificar animais com menor exigência energética de manutenção, gerando menores gastos com alimentação sem prejudicar a quantidade e qualidade do produto final (ALDRIGHI,

2013). O menor consumo de alimentos por animais mais eficientes leva a uma economia considerável por animal/ano (COCKRUM et al., 2013). Em longo prazo também pode levar a ganhos ambientais, com a necessidade de menores áreas de pastagem para alimentar o mesmo número de animais (PAULA et al., 2013b).

Para o CAR ser uma medida adequada de eficiência alimentar na indústria ovina não deve haver influência de qualquer origem anterior ao teste (como o tipo de nascimento e a idade) e não pode haver correlação negativa com características de crescimento, reprodutivas ou de carcaça (COCKRUM et al., 2013).

3.4 Etapas da análise estatística do consumo alimentar residual

A análise estatística do consumo alimentar residual apresenta algumas peculiaridades que podem dificultar a avaliação por pessoas que nunca tiveram contato com este tipo de estatística. Por isso se faz importante descrever as diferentes etapas para a sua realização no software estatístico SAS®, facilitando a análise (Montanholi et al. 2009; Gomes et al. 2012).

1) Filtrar o conjunto de dados para detectar e excluir valores anormais ou dias em que houve problema mecânico nos cochos eletrônicos (INTERGADO®, GrowSafe® ou similares).

2) Utilizar a média (*MEANS procedure* do SAS®) dos valores das características mensuradas mais de uma vez durante o período de estudo.

3) Calcular o consumo alimentar residual (CAR), que é a diferença entre a ingestão de matéria seca observada e a ingestão de matéria seca esperada.

3.1) A IMS observada é obtida pela mensuração da quantidade de ração ingerida, baseada em sua matéria seca, por animal e por dia (GOMES et al., 2012). A fórmula para transformar a quantidade de ração ingerida em quantidade de matéria seca é:

IMS = (quantidade consumida de concentrado em kg x teor de matéria seca do concentrado) + (quantidade consumida de feno ou silagem em kg x teor de matéria seca do feno ou silagem)

3.2) Já a IMS esperada é determinada para cada animal utilizando-se uma equação matemática criada com base nos dados de IMS dos alimentos, ganho de peso e peso vivo da população que está sendo avaliada e deve ser calculada usando o procedimento geral do modelo linear (*general linear model procedure*) do SAS®. A caracterização do peso vivo do animal é realizada por meio de seu peso vivo médio metabólico (PVMM), que representa o peso vivo em que o animal apresentaria ao meio do período de avaliação, elevado à potência 0,75:

$$\text{PVMM (kg)} = [(PVI+PVF)/2]^{0,75}$$

PVI = peso vivo ao início do teste (kg); PVF = peso vivo ao fim do teste (kg).

O ganho médio diário é obtido por regressão do peso corporal nos dias de teste ou através da fórmula:

$$\text{GMD} = (\text{peso vivo final} - \text{peso vivo inicial}) / \text{quantidade de dias de experimento}$$

O conjunto de dados contendo IMS, GMD e PVMM de cada indivíduo é então utilizado para uma análise chamada “regressão linear múltipla” que irá criar a equação básica (KOCH et al., 1963) válida para a população avaliada:

$$\text{IMS}_{\text{esperada}} = \beta_0 + (\beta_1 \times \text{GMD}) + (\beta_2 \times \text{PVMM})$$

IMS = ingestão de matéria seca (kg). GMD = ganho de peso médio diário (kg/dia). PVMM = peso vivo médio metabólico (kg). β_0 = valor numérico do intercepto da regressão. β_1 e β_2 = valores numéricos dos coeficientes da regressão linear múltipla da IMS diária no GMD e no PVMM, respectivamente.

É possível adicionar na equação básica outras características que possam ter sido avaliadas durante o experimento, tais como: características de raça, sexo, comportamento, reprodução, carcaça, morfologia corporal, etc. É importante avaliar se o R^2 da regressão (*REG procedure* do SAS®) aumenta de forma considerável e se o critério de informação Bayesiana (*Bayesian information criteria – BIC – MIXED procedure* do SAS®) diminui com a inclusão das variáveis (MONTANHOLI et al., 2009a).

3.3) Assim, além do $IMS_{observada}$, cada indivíduo terá seu $IMS_{esperada}$, possibilitando, então, o cálculo do CAR:

$$\mathbf{CAR\ (kg) = IMS_{observada}\ (kg) - IMS_{esperada}\ (kg)}$$

$IMS_{observada}$ = ingestão de matéria seca observada durante o teste. $IMS_{esperada}$ = ingestão de matéria seca esperada com base em seu peso vivo médio metabólico e seu ganho de peso.

4) Ranquear os animais do estudo após a determinação do CAR de cada indivíduo. É importante salientar que os indivíduos com valor de CAR negativo são os mais eficientes no uso de alimentos, pois eles consomem menos alimento do que o esperado para o ganho e peso vivo considerados. Então, o contrário também é verdadeiro, onde os animais com CAR positivo são menos eficientes no uso de alimentos, pois os mesmos consomem mais alimento do que o esperado para o ganho e peso vivo considerados. Após a determinação do ranking dos animais é possível classificá-los em mais eficientes, de eficiência intermediária e menos eficientes, ficando a critério do pesquisador a porcentagem de animais em cada uma dessas classes.

5) Realizar a análise de variância e o teste de comparação de médias adequado para o conjunto de dados disponíveis. As classes dos animais (mais eficientes, de eficiência intermediária e menos eficientes) devem ser consideradas para essa análise.

6) Realizar a correlação (*CORR procedure* no SAS®) entre todas as características do estudo, sem considerar as classes dos animais (mais eficientes, de eficiência intermediária e menos eficientes).

3.5 Desempenho de ovinos

O desempenho dos animais (pesos e ganhos de pesos nas diversas fases da vida) depende de vários fatores, como a alimentação, as condições climáticas (precipitação, temperatura e umidade) e sanitárias da região, o ano e mês de nascimento, o sexo, o tipo de nascimento da cria e a idade e/ou o peso da mãe ao parto (SOUZA et al., 2006).

Através da mensuração dos pesos corporais durante o período de crescimento é possível avaliar geneticamente o rebanho e selecionar os animais com crescimento satisfatório (SARMENTO et al., 2006). Entretanto, a seleção para melhorar a velocidade de crescimento é possível se houverem condições ambientais para a criação dos animais melhorados (SILVA; ARAÚJO, 2000).

Os pesos em determinadas idades apresentam características diferentes e geralmente correlacionadas, sendo importante conhecer a magnitude e a direção de tais correlações, pois a seleção de uma delas poderá promover mudanças nas demais (SARMENTO et al., 2006). Silva & Araújo (2000) afirmaram que a seleção pelo ganho de peso pode ser feita entre 56 e 84 dias de idade, pois esta é uma característica que mais reflete a habilidade genética do cordeiro e apresenta alta herdabilidade.

3.6 Morfometria corporal

O conhecimento do padrão de crescimento de ovinos é importante para compreender seu desenvolvimento, visando melhorar os sistemas de produção através da nutrição e do melhoramento genético (COSTA et al., 2014). A caracterização fenotípica através das medidas morfométricas e dos índices zoométricos contribui para o conhecimento da conformação dos indivíduos que constituem cada grupamento genético, para o estabelecimento da relação entre

conformação e funcionalidade (ARAÚJO FILHO et al., 2007) e para indicar o valor de produção dos animais (MCMANUS et al., 2008).

Os sistemas de criação e as exigências de mercado são dinâmicos e a lucratividade deve nortear as decisões sobre o tamanho ideal para determinada condição de ambiente ou mercado, pois o peso do animal e, conseqüentemente, o custo de manutenção e produção serão diretamente influenciados (COSTA JUNIOR et al., 2006).

Normalmente são utilizadas algumas medidas morfométricas, sendo o comprimento do corpo e perímetro torácico medidos com fita métrica não elástica e as alturas de cernelha e garupa medidas com hipômetro zoométrico (COSTA et al., 2014; BARTHOLAZZI JUNIOR et al., 2017):

- Altura de cernelha (*withers height*): mensuração das extremidades livres do 5° ou 6° processo espinhoso torácico até o solo (cm);

- Altura da garupa (*rump height*): mensuração do ponto mais alto da transição lombo-sacra, especificamente sobre a tuberosidade sacral do íleo, até o solo (cm);

- Comprimento do corpo (*body length*): distância entre a parte cranial do tubérculo maior do úmero e a tuberosidade isquiática (cm);

- Perímetro torácico (*thoracic perimeter*): circunferência do tórax do animal, passando imediatamente após a cernelha (espaço definido pelo processo espinhoso de t5 – t6), passando pelo espaço intercostal da 8ª e 9ª costela, até a articulação da última costela com o processo xifoide (cm).

A relação entre algumas medidas morfométricas (cm) ou entre elas e o peso corporal (kg) permite calcular alguns índices zoométricos, o que pode ser útil para avaliar o desenvolvimento, a aptidão (COSTA et al., 2014), proporções, conformação (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010) e a capacidade corporal dos animais (COSTA JUNIOR et al., 2006). Alguns índices utilizados em animais de produção são:

- Capacidade corporal 1 (COSTA JUNIOR et al., 2006): peso vivo/comprimento do corpo (kg/cm);

- Capacidade corporal 2 (COSTA JUNIOR et al., 2006): peso vivo/perímetro torácico (kg/cm);

- Índice corporal (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010): (comprimento do corpo/perímetro torácico) x 100;

- índice de proporcionalidade (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010): (comprimento do corpo/altura de cernelha) x 100;
- Índice corporal lateral (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007): (altura de cernelha/comprimento do corpo) x 100;
- Índice de compacidade (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007): (peso vivo/altura de cernelha) x 100;
- Coeficiente de proporcionalidade corporal (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007): (índice de compacidade/índice corporal) x 100;

A capacidade corporal indica a habilidade de acúmulo de músculo na carcaça e essa medida é importante porque permite estimar e classificar animais em relação ao potencial de desenvolvimento corporal (ARAÚJO FILHO et al., 2007).

A conformação do corpo pode ser definida pela relação entre altura e comprimento do perímetro torácico. Assim, os animais longilíneos, conhecidos como "pernaltas", seriam aqueles altos e longos, enquanto os "compactos" seriam aqueles baixos e curtos, que é a conformação predominante e desejável para animais com aptidão para produzir carne (COSTA et al., 2014).

As medidas relacionadas com as alturas (ernelha e garupa) são as que permitem definir o perfil dos animais (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010). O índice corporal lateral (altura de cernelha/comprimento do corpo x 100) indica que animais com valores menores tem o corpo mais retangular, a forma predominante em animais com aptidão para carne (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007). Como o índice de proporcionalidade corporal usa as mesmas variáveis, mas ao contrário (comprimento do corpo/altura de cernelha x 100), animais com maiores valores mostram maior aptidão para carne (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007).

De acordo com o índice de compacidade, quando o peso aumenta e a altura de cernelha diminui, há um aumento no índice e os animais ficam mais compactos (COSTA et al., 2014). O coeficiente de proporcionalidade corporal se refere a conformação animal, com maiores médias nesse índice estando relacionadas a animais mais compactos e menores médias a animais mais longilíneos (se são mais compactos ou longilíneos) (COSTA et al., 2014).

As diferenças entre sexos nas medidas morfológicas, onde normalmente os machos são maiores que as fêmeas, podem ocorrer em função dos diferentes efeitos

hormonais entre os sexos sobre o crescimento (JIMMY et al., 2010). Os membros maiores da raça Santa Inês devem facilitar a procura de comida, uma vez que eles são originários do semi-árido nordestino, com grande escassez de forragem (CARTAXO et al., 2017). A raça Dorper é especializada na produção de carne e herdaram membros menores devido a conformação mais compacta resultante de melhoramento genético que buscou uma maior profundidade de corpo em detrimento das extremidades corporais, uma vez que a maior proporção da carcaça vem da profundidade (CARTAXO et al., 2017).

3.7 Morfometria testicular

A seleção precoce de reprodutores também é uma das atividades que devem ser realizadas para aumentar a produtividade de ovinos (ELMAZ et al., 2008). As medidas testiculares são fáceis de serem mensuradas em animais jovens e as mais importantes são o diâmetro, a altura e o volume testiculares e a circunferência escrotal (ELMAZ et al., 2008). A biometria testicular é considerada um importante fator de avaliação em ovinos devido à alta correlação com a produção espermática e a performance reprodutiva, assim como características de produção, como o desenvolvimento corporal transmitido para a progênie (ASSIS et al., 2008).

O diâmetro testicular tem uma relação direta com a produção espermática (ELMAZ et al., 2008). A circunferência escrotal (CE) é um bom indicador da habilidade reprodutiva (BENOÎT et al., 2017b) e a medição do CE é uma forma barata, repetível e objetiva de estimar a produção espermática dos ovinos (SÖDERQUIST; HULTÉN, 2006). Os resultados de correlação apontam que o aumento em uma medida testicular aumenta outra medida e vice-e-versa (BENOÎT et al., 2017b).

Uma relação significativa foi observada entre as concentrações de testosterona, circunferência escrotal, peso corporal, características morfológicas e fisiológicas pré-púbere e a performance reprodutiva após a puberdade (ELMAZ et al., 2008). Além disso, esses autores sugerem que o peso corporal e a concentração de testosterona podem dar uma boa indicação das características seminais após a puberdade.

3.8 Avaliação de carcaça

Para que a carne ovina seja um produto competitivo e atenda à demanda do mercado consumidor, é essencial que os produtores disponibilizem carne ovina de qualidade (MCMANUS et al., 2013). A ultrassonografia é uma tecnologia não invasiva que torna possível a mensuração das principais características de qualidade da carcaça (área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea) através da obtenção de imagens em tempo real em animais vivos e sem deixar resíduos na carcaça (SANTOS et al., 2016).

As medidas de carcaça podem ser empregadas na identificação do melhor ponto de abate dos animais, de acordo com as exigências da indústria frigorífica (ANDRIGHETTO et al., 2009). No Brasil as carcaças preferidas pesam em média de 12 a 13 kg e se faz necessária a implementação de programas de seleção para ganho de peso das raças/grupos genéticos brasileiros, além de melhorar a nutrição e manejo geral do rebanho, uma vez que a interação genótipo x ambiente é um fator determinante no desempenho dos animais (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003).

As imagens do ultrassom são obtidas por corte transversal do músculo *Longissimus dorsi*, posicionando o transdutor transversalmente na porção dorsal, entre a 12ª e 13ª vértebra torácica (SANTOS et al., 2016). Com o auxílio da ultrassonografia é possível medir as seguintes características de carcaça:

- Área de olho de lombo: a área de olho de lombo apresenta correlação alta e positiva com a distribuição de músculos (MCMANUS et al., 2013). O desenvolvimento do músculo *Longissimus dorsi* está diretamente ligado ao aumento do peso corporal e a idade (SANTOS et al., 2016).

- Espessura da gordura subcutânea: A espessura de gordura subcutânea aumenta em função da idade (maturidade) dos animais e está relacionado ao incremento na gordura da carcaça, podendo proporcionar diferença de qualidade comercial (SANTOS et al., 2016). Ela é usada como parâmetro para a determinação do ponto ótimo de abate, pois após a maturidade fisiológica da carcaça, o tecido adiposo começa a ser depositado em maior proporção do que os outros tecidos

(ANDRADE et al., 2017). As carcaças devem apresentar boa distribuição da gordura de cobertura para evitar o encurtamento pelo frio (age como isolante térmico) e a consequente perda de maciez, além de que a gordura intramuscular, em níveis moderados, proporciona sabor e maciez (MCMANUS et al., 2013).

O aumento da musculosidade da carcaça tende a ser acompanhado pela deposição de gordura na região dorso-lombar em média magnitude, indicando de forma indireta os animais que poderão apresentar melhor rendimento e acabamento dos cortes nobres (SANTOS et al., 2016).

3.9 Água na produção animal

A água é um nutriente essencial para a sustentação da vida que vem sendo motivo de preocupação mundial pelos sinais evidentes de crescente escassez e deterioração (SOARES; CAMPOS, 2013). No Brasil, a escassez de chuvas aliada à falta de planejamento e o consumo excessivo de água trouxeram o resultado desastroso de falta de água para os moradores de diversas regiões desde o ano de 2014 (MACEDO, 2015).

A gestão de recursos hídricos é tratada por vários especialistas como o grande desafio da atualidade (SOARES; CAMPOS, 2013), mostrando-se necessária a conscientização sobre a escassez dos recursos naturais e devendo ser frisado que, para a sobrevivência humana, a água deve ser tratada como um limitado, valioso e estratégico bem para o mundo (MACEDO, 2015). Tendo em vista que a crise hídrica não está restrita apenas às condições climáticas, mas também está relacionada a problemas nas áreas de gestão e de planejamento, são fundamentais as adoções de medidas para o uso correto, evitando o desperdício (MACEDO, 2015).

Por ocasião da Reunião sobre o Meio Ambiente - Rio 92, com a Agenda 21, foi proposto o programa "água para produção de alimentos e desenvolvimento rural sustentáveis", o qual considerou que:

A sustentabilidade da produção de alimentos depende cada vez mais de práticas saudáveis e eficazes de uso e conservação da água, entre as quais se destaca o desenvolvimento e manejo da irrigação, inclusive o manejo das águas em zonas de agricultura de sequeiro, o suprimento de água para a

criação de animais, aproveitamentos pesqueiros de águas interiores e agrosilvicultura (CHRISTOFIDIS, 2006).

A rápida degradação dos recursos naturais e a alteração nos regimes hídricos têm trazido como consequência mais visível a redução dos índices de produção de alimentos (SANTOS et al., 2013). Além disso, a crise hídrica pode causar seca e demissão de funcionários, afetando diretamente tanto a proteção da dignidade humana quanto a cidadania (MACEDO, 2015).

A pecuária e o consumo de carne vêm sendo associados de diversas formas ao problema da escassez mundial de água, mas é importante evitar generalizações, pois existem diversos sistemas de produção animal e muitas diferenças geográficas (RIDOUTT et al., 2012). O consumo de carne não utiliza, necessariamente, mais água doce do que outras formas de nutrição, sendo necessário avaliar os impactos do uso da água nos diferentes sistemas de produção para que o debate sobre o papel da carne em um sistema alimentar sustentável global seja conduzido apropriadamente (RIDOUTT et al., 2012).

Na pecuária a água é necessária para os animais beberem, limpeza de instalações e de equipamentos e para o cultivo de grãos ou pasto oferecidos aos animais (RAN et al., 2017). Cerca de dois terços dos solos cultivados no mundo estão sendo usados com produtos destinados à alimentação animal (CHRISTOFIDIS, 2006) e o uso da água tanto na produção destes alimentos, como na produção animal em si é o equivalente a 30% dos requisitos mundiais de água agrícola, incluindo chuva e água para a irrigação (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012). Desse total, >98% do uso da água pode ser atribuído à evapotranspiração em culturas de alimentos para animais e em pastagens, enquanto apenas 2-8% da água é usada para beber ou para limpeza (RAN et al., 2017; MEKONNEN & HOEKSTRA 2012).

É importante que os animais tenham acesso à vontade a água de boa qualidade, tanto para o seu bem-estar quanto para a rentabilidade comercial (Markwick, 2007). A água pode estar disponível aos animais de três formas: através da ingestão voluntária direta (bebendo), dos alimentos e das reações metabólicas corporais que produzem água (NRC, 2007).

A água no interior do corpo dos animais é responsável por diversas funções vitais, tais como o transporte de hormônios, íons, nutrientes, metabólitos, calor e pela eliminação de resíduos do metabolismo (NRC, 2007). A mensuração da ingestão

voluntária de água por um animal reflete o seu requerimento de água (Forbes, 1968) e essa informação ajuda os produtores a ter uma ideia do volume de água necessário para o desenvolvimento de suas atividades, permitindo comparar a demanda por água e melhorar a disponibilidade hídrica (SOARES; CAMPOS, 2013).

O consumo de água potável por animais é raramente medido diretamente, mas sabe-se que quando a pastagem é de alta qualidade pode satisfazer todas as necessidades de água de um animal, enquanto quando o teor de umidade do alimento é baixo os animais se tornam dependentes de água potável para se manterem saudáveis (RIDOUTT et al., 2012). O uso da água também pode variar entre animais da mesma espécie devido ao peso corporal, ingestão de matéria seca, estação do ano (diferenças de temperatura ambiente), raça, tipo de produção (confinamento ou pasto), produtividade, estágio de produção (manutenção, crescimento, gestação, lactação), sexo (NRC, 2007) e pela qualidade da água (salinidade, acidez, elementos e compostos tóxicos e crescimento de algas) (MARKWICK, 2007).

Com essas informações e seguindo a mesma lógica do uso do consumo alimentar residual (CAR) é possível sugerir a utilização do consumo de água residual (CAgR), adaptando-se as equações sugeridas por Gomes et al. (2012).

A ingestão de água (IAg) observada é obtida pela mensuração da ingestão diária de água (do bebedouro e do alimento) de cada animal durante o período de teste. Já a IAg esperada é determinada para cada animal utilizando-se uma equação matemática criada com base nos dados de ingestão diária de água, ganho de peso diário e peso vivo da população que está sendo avaliada (adaptado de Gomes et al. 2012). A caracterização do peso vivo do animal é realizada por meio de seu peso vivo médio metabólico (PVMM).

$$\text{PVMM} = ((\text{PVI} + \text{PVF}) / 2)^{0,75}$$

PVI = peso vivo ao início do teste (kg); PVF = peso vivo ao fim do teste (kg).

O conjunto de dados contendo IAg, GMD e PVMM de cada indivíduo é então utilizado para uma análise chamada “regressão linear múltipla” que irá criar a equação válida para a população avaliada:

$$\text{IAg}_{\text{esp}} = \beta_0 + (\beta_1 \times \text{GMD}) + (\beta_2 \times \text{PVMM})$$

β_0 , β_1 e β_2 serão valores numéricos. GMD = ganho de peso médio diário (kg). IAg_{esp} = ingestão diária de água esperada (kg/dia). PVMM = peso vivo médio metabólico (kg).

Assim, além da IAg_{obs}, cada indivíduo terá sua IAg_{esp}, possibilitando, então, o cálculo do consumo de água residual (CAgR):

$$\text{CAgR (kg/dia)} = \text{IAg}_{\text{obs}} \text{ (kg/dia)} - \text{IAg}_{\text{esp}} \text{ (kg/dia)}$$

CAgR = consumo de água residual. IAg_{obs} = ingestão diária de água observada. IAg_{esp} = ingestão diária de água esperada.

O impacto da pecuária na disponibilidade de água doce pode ser reduzido por práticas que diminuam o uso da água, aumentem a produtividade, a eficiência de conversão alimentar e o uso de alimentos não irrigados (ZONDERLAND-THOMASSEN; LIEFFERING; LEDGARD, 2014). Sendo assim, o conhecimento da eficiência na utilização da água para a transformação em produtos de origem animal é importante para melhorar os padrões de produção e investimento que gerem menos consequências negativas para o ambiente e para a sociedade, incentivando a sustentabilidade.

Outra boa alternativa para a utilização consciente da água é a utilização de raças adaptadas a regiões com escassez sazonal de água, pois elas desenvolveram estratégias de adaptação comportamentais e fisiológicas que maximizam a ingestão de água e minimizam sua perda, consumindo menos água do que raças exóticas (NRC, 2007).

3.10 Comportamento alimentar

A seleção de alimentos pelos animais (no pasto ou no cocho) e o conhecimento dos comportamentos em situações de competição por alimento são relevantes para a ingestão e boa eficiência de conversão alimentar (BROOM; FRASER, 2007). As alterações no comportamento alimentar podem sinalizar doenças, enquanto o comportamento social, como a competição no cocho (que pode ser consequência do

inadequado dimensionamento do mesmo), pode causar estresse devido às agressões e afetar negativamente o sistema imunológico dos animais, aumentando a suscetibilidade a doenças (COELHO et al., 2012).

O termo forrageamento foi definido por Broom (1981) como sendo o comportamento dos animais quando estão se movendo de forma que há a possibilidade de encontrar e adquirir comida para si mesmo ou para seus descendentes. Uma vez que o alimento é encontrado, a taxa de ingestão dependerá de fatores como: habilidade mecânica oral e outras habilidades do animal; propriedades físicas e mecânicas do alimento; disponibilidade de água; qualidades nutricionais do alimento e possíveis possibilidades negativas, como o perigo de predação, ataques por insetos ou competição com outros membros da espécie (BROOM; FRASER, 2007).

Muitos estudos sobre o CAR mensuram o consumo de alimento pelos animais em confinamento, com os animais separados em baias individuais e sem contato físico com coespecíficos. Como os ovinos são animais altamente sociais e o isolamento do rebanho é uma das situações mais estressantes na prática pecuária moderna (BALDOCK; SIBLY, 1990), a utilização de cochos eletrônicos, capazes de mensurar o consumo de alimentos de forma individual e automática, possibilita a permanência dos animais em grupo e, provavelmente, fornece resultados mais acurados.

O CAR pode variar devido às diferenças nos gastos energéticos associados aos comportamentos (levantar, deitar, movimentar, ingerir, mastigar e ruminar) ou outros processos fisiológicos envolvidos na regulação da ingestão de alimento (LANCASTER et al., 2009). Os animais mais eficientes no uso da energia dos alimentos (baixo CAR) podem apresentar até 22% menos comportamentos alimentares durante o dia, sendo mais sedentários e utilizando menos energia para atividades do que os animais menos eficientes (KELLY et al., 2013).

O tempo e a taxa de alimentação podem ser consideravelmente afetados pela qualidade de nutrientes, condições climáticas, equilíbrio de água, predadores, insetos e fatores sociais (BROOM; FRASER, 2007). Os animais menos eficientes (alto CAR) apresentaram maior taxa de alimentação (ingestão de matéria seca/duração de atividade alimentar por dia), eventos alimentares diários (número de vezes que o animal acessou o cocho e consumiu pelo menos 100g de alimento) e eventos não alimentares diários (número de vezes que o animal acessou o cocho sem consumir

alimento ou consumindo menos de 100g) (KELLY et al., 2013), indicando que as características de comportamento alimentar podem ser usadas para acessar a performance animal (MONTANHOLI et al., 2010).

REFERÊNCIAS

ACCO-SC. **Associação catarinense de criadores de ovinos. Padrão racial: Santa Inês.**, 2017a. Disponível em: <http://www.acco-sc.com.br/?page_id=99&phpMyAdmin=6de2103e448d3d1855645aaec245686d>.

ACCO-SC. **Associação catarinense de criadores de ovinos. Padrão racial: Dorper.**, 2017b. Disponível em: <http://www.acco-sc.com.br/?page_id=231&phpMyAdmin=6de2103e448d3d1855645aaec245686d>.

ALDRIGHI, J. **Comportamento ingestivo e temperamento de bovinos nelore: relação com eficiência alimentar e aspectos metodológicos** Nova Odessa Instituto de Zootecnia, 2013.

ANDRADE, A. C. S.; MACEDO, F. A. F.; ANTOS, G. R. A.; QUEIROZ, L. O.; MORA, N. H. A. P.; MACEDO, T. G. Regional composition of carcass and tissue composition of cuts from lambs slaughtered with different subcutaneous fat thicknesses. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2019–2028, 2017.

ANDRIGHETTO, C.; JORGE, A. M.; CERVIERI, R. da C.; CUCKI, T. O.; RODRIGUES, É.; ARRIGONI, M. de B. Relação entre medidas ultrassônicas e da carcaça de bubalinos Murrah abatidos em diferentes períodos de confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1762–1768, 2009.

ARAÚJO FILHO, J. T.; COSTA, R. G.; FRAGA, A. B.; SOUSA, W. H.; GONZAGA NETO, S.; BATISTA, A. S. M.; CUNHA, M. G. G. Efeito de dieta e genótipo sobre medidas morfométricas e não constituintes da carcaça de cordeiros deslanados terminados em confinamento. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 8, n. 4, p. 394–404, 2007.

ASSIS, R. M.; PÉREZ, J. R. O.; BARRETO FILHO, J. B.; DE PAULA, O. J.; ALMEIDA, T. R. V.; MACEDO JUNIOR, G. L.; FRANÇA, P. M. Evolução do peso testicular de cordeiros da raça Santa Inês alimentados com diferentes níveis de energia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 5, p. 1219–1226, 2008.

BALDOCK, N. M.; SIBLY, R. M. Effects of Handling and Transportation on the Heart-Rate and Behavior of Sheep. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 28, n. 1–2, p. 15–39, 1990.

BARTHOLAZZI JUNIOR, A.; QUIRINO, C. R.; MATOS, L. F.; VEGA, W. H. O.; RUA,

- M. A. S.; CASTRO, T.; FREITAS, A. C. B.; RIBEIRO, M. S. Medidas lineares de equinos da raça Pônei Brasileiro. **Revista eletrônica de veterinária**, v. 18, n. 2, p. 1–12, 2017.
- BENOÎT, K. G.; ULBAD, T. P.; CYRILLE, B. K.; SERGE, Z. M.; CHRISTIAN, H. Relationships between body size and testicular morphometric traits of mature rams of djallonke and ouda breeds reared in north Benin. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, v. 6, n. 1, p. 53–59, 2017.
- BRAVO, S.; SEPÚLVEDA, N. Índices Zoométricos en Ovejas Criollas Araucanas. **International Journal of Morphology**, v. 28, n. 2, p. 489–495, 2010.
- BROOM, D. M. **Biology of Behaviour**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1981.
- BROOM, D. M.; FRASER, A. F. **Domestic animal behaviour and welfare**. 4. ed. London: CAB International, 2007.
- BUENO, M. S.; CUNHA, E. A.; SANTOS, L. E.; VERÍSSIMO, C. J. **Santa Inês: uma boa alternativa para a produção intensiva de carne de cordeiros na região Sudeste** Artigo em Hypertexto, 2006.
- CABRAL, L. S.; NEVES, E. M. O.; ZERVOUDAKIS, J. T.; ABREU, J. G.; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, I. S. Estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos em condições brasileiras Nutrients. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 9, n. 3, p. 529–542, 2008.
- CARTAXO, F. Q.; SOUSA, W. H.; CEZAR, M. F.; CUNHA, M. G. G.; MENEZES, L. M.; RAMOS, J. P. F.; GOMES, J. T.; VIANA, J. A. Desempenho e características de carcaça de cordeiros Santa Inês e suas cruzas com Dorper terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 18, n. 2, p. 388–401, 2017.
- CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, G. R.; ALVES, K. S. Nutrição e alimentação de ovinos em confinamento. In: FERREIRA, R. A.; VELOSO, C. M.; RECH, C. L. S. (Ed.). **Nutrição animal: tópicos avançados**. Itapetininga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2003. p. 176–213.
- CASANOVA, P.; PERE-MIQUEL, L. S. D. Análisis biométrico y funcional de la raza ovina aranesa. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2007.
- CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista de Ciências Exatas**, v. 12, n. 1, p. 37–46, 2006.
- COCKRUM, R. R.; STOBART, R. H.; LAKE, S. L.; CAMMACK, K. M. Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. **Small Ruminant Research**, v. 113, n. 2–3, p. 313–322, 2013.
- COELHO, S. G.; RIBAS, M.; MACHADO, F. S.; JÚNIOR, B. R. O. Sistemas automatizados para alimentação: futuro na nutrição de precisão. **Revista leite**

integral, v. Novembro, p. 36–40, 2012.

COSTA, R. L. D.; QUIRINO, C. R.; AFONSO, V. A. C.; PACHECO, A.; BELTRAME, R. T.; MADELLA-OLIVEIRA, A. F.; COSTA, A. M.; SILVA, R. M. C. Morphometric indices in santa ines sheep. **International Journal of Morphology**, v. 32, n. 4, p. 1370–1376, 2014.

COSTA JUNIOR, G. S.; CAMPELO, J. E. G.; AZEVÊDO, D. M. M. R.; MARTINS FILHO, R.; CAVALCANTE, R. R.; LOPES, J. B.; OLIVEIRA, M. E. Caracterização morfológica de ovinos da raça Santa Inês criados nas microrregiões de Teresina e Campo Maior, Piauí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2260–2267, 2006.

DA CUNHA CASTRO, J. M.; DA SILVA, D. S.; DE MEDEIROS, A. N.; PIMENTA FILHO, E. C. Performance of Santa Ines lambs fed total mixed rations containing different ratios of concentrate to ceara rubber tree hay. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 36, n. 3, p. 674–680, 2007.

ELMAZ, O.; DIKMEN, S.; CIRIT, U.; DEMIR, H. Prediction of postpubertal reproductive potential according to prepubertal body weight, testicular size, and testosterone concentration using multiple regression analysis in Kivircik ram lambs. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 32, n. 5, p. 335–343, 2008.

EMBRAPA, E. B. de P. A. **Avaliação econômica e produtiva de dois sistemas de produção de ovinos de corte utilizando cruzamentos, em Sobral (CE)** Sobral, CE/EMBRAPA-CNPC, , 1993. .

EXTECH®. **User's manual: heat stress WBGT meter (model HT30)** FLIR Systems, Inc., , 2016.

FAÇANHA, D. A. E.; CHAVES, D. F.; MORAIS, J. H. G.; VASCONCELOS, A. M.; COSTA, W. P.; GUILHERMINO, M. M. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 14, n. 1, p. 91–103, 2013.

FORBES, J. M. The water intake of ewes. **British Journal of Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 33–43, 1968.

GOMES, R. C.; SANTANA, M. H. A.; FERRAZ, J. B. S.; LEME, P. R.; SILVA, S. L. **Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte**. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2012.

HERD, R. M.; BISHOP, S. C. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. **Livestock Production Science**, v. 63, p. 111–119, 2000.

KELLY, A. K.; MCGEE, M.; JR, D. H. C.; FAHEY, A. G.; WYLIE, A. R.; KENNY, D. A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. p. 109–123, 2013.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed

use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.

LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; RIBEIRO, F. R. B.; TEDESCHI, L. O.; CREWS, D. H. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 4, p. 1528–1539, 2009.

MACEDO, M. F. S. Técnicas de irrigação, o desenvolvimento da agricultura e do agronegócio: Uma análise á luz da proteção humana e da cidadania frente á crise hídrica nacional. **Campo Jurídico**, v. 3, n. 2, p. 39–54, 2015.

MAGNANI, E.; NASCIMENTO, C. F.; BRANCO, R. H.; BONILHA, S. F. M.; RIBEIRO, E. G.; MERCADANTE, M. E. Z. Relações entre consumo alimentar residual, comportamento ingestivo e digestibilidade em novilhas Nelore. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 2, p. 187–194, 2013.

MARKWICK, G. Water requirements for sheep and cattle. **Primefacts**, v. 326, n. January, p. 1–4, 2007.

MCMANUS, C. M.; SANTOS, S. A.; SILVA, J. A.; LOUVANDINI, H.; ABREU, U. G. P.; SERENO, J. R. B.; MARIANTE, A. S. Body indices for the pantaneiro horse. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 45, n. 5, p. 362–370, 2008.

MCMANUS, C.; PAIM, T. P.; LOUVANDRINI, H.; DALLAGO, B. S. L.; DIAS, L. T.; TEIXEIRA, R. A. Avaliação ultrassonográfica da qualidade de carcaça de ovinos Santa inês. **Ciência animal brasileira**, v. 14, n. 1, p. 8–16, 2013.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 401–415, 2012.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; LU, D.; MILLER, S. P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v. 4, n. 5, p. 692–701, 2010.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; CALDWELL, T. R.; MILLER, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22–30, 2009. D

NKRUMAH, J. D.; LI, C.; BASARAB, J. B.; GUERCIO, S.; MENG, Y.; MURDOCH, B.; HANSEN, C.; MOORE, S. S. Association of a single nucleotide polymorphism in the bovine leptin gene with feed intake, feed efficiency, growth, feeding behaviour, carcass quality and body composition. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, p. 211–219, 2004.

NRC, N. R. C. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, and New World camelids**. 1st. ed. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2007.

OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025**. Paris: OECD publishing, 2016.

PALHARES, J. C. P. **Produção animal e recursos hídricos - volume 1**. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2016.

PAULA, E. F. E.; MONTEIRO, A. L. G.; SOUZA, D. F.; PRADO, O. R.; NOMURA, T. M.; STIVARI, T. S. S.; SILVA, C. J. A.; SANTANA, M. H. A. Consumo alimentar residual e sua relação com medidas de desempenho e eficiência e características in vivo da carcaça de cordeiros. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 2, p. 566–572, 2013a.

PAULA, E. F. E.; SANTANA, M. H. A.; MONTEIRO, A. L. G.; KULIK, C. H.; KOWALSKI, L. H.; CRUZ, T. A. Consumo alimentar residual em ovinos. **Acta Tecnológica**, v. 8, n. 1, p. 12–21, 2013b.

PLOOY, H. du. **Breeds of Livestock - Dorper Sheep**, 1999.

RAN, Y.; VAN MIDDELAAR, C. E.; LANNERSTAD, M.; HERRERO, M.; DE BOER, I. J. M. Freshwater use in livestock production???To be used for food crops or livestock feed? **Agricultural Systems**, v. 155, p. 1–8, 2017.

RIDOUTT, B. G.; SANGUANSRI, P.; NOLAN, M.; MARKS, N. Meat consumption and water scarcity: beware of generalizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 127–133, 2012.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111–121, 2013.

SANTOS, N. P. S.; GUIMARÃES, F. F.; SARMENTO, J. L. R.; SOUSA JÚNIOR, A.; REGO NETO, A. A.; SENA, L. S.; SANTOS, G. V. Estrutura de covariância para características de carcaça e tamanho corporal com medidas repetidas em ovinos de diferentes grupos genéticos. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 17, n. 4, p. 652–665, 2016.

SARMENTO, J. L. R.; TORRES, R. A.; SOUSA, W. H.; PEREIRA, C. S.; LOPES, P. S.; BREDA, F. C. Estimção de parâmetros genéticos para características de crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos uni e multicaracterísticas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 4, p. 581–589, 2006.

SILVA, F. L. R.; ARAÚJO, A. M. Características de reprodução e de crescimento de ovinos mestiços Santa Inês, no Ceará. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1712–1720, 2000.

SIMPLÍCIO, A. A.; WANDER, A. E.; LEITE, E. R.; LOPES, E. A. **A caprino-ovinocultura de corte como alternativa para geração de emprego e renda**. Sobral, CE: Embrapa Caprinos, 2003.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, p. 48–57, 2013.

SÖDERQUIST, L.; HULTÉN, F. Normal values for the scrotal circumference in rams of Gotlandic breed. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 41, n. 1, p. 61–62, 2006.

SOUSA, W. H.; LÔBO, R. N. B.; MORAIS, O. R. Ovinos Santa Inês: estado de arte e perspectivas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 2., João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: EMEPA, 2003.

SOUZA, J. E. R.; OLIVEIRA, S. M. P.; LIMA, F. A. M.; SILVA, F. L. R.; SILVA, M. A. Efeitos genéticos e de ambiente para características de crescimento em ovinos Santa Inês no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 364–368, 2006.

YAMAMOTO, S. M.; MACEDO, F. A. F.; ZUNDT, M.; MEXIA, A. A.; SAKAGUTI, E. S.; ROCHA, G. B. L.; REGACONI, K. C. T.; MACEDO, R. M. G. Fontes de óleo vegetal na dieta de cordeiros em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 703–710, 2005.

ZONDERLAND-THOMASSEN, M. A.; LIEFFERING, M.; LEDGARD, S. F. Water footprint of beef cattle and sheep produced in New Zealand: Water scarcity and eutrophication impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 253–262, 2014.

EFFICIENCY IN WATER AND FOOD USE BY ANIMALS FOR A SUSTAINABLE SHEEP INDUSTRY

Abstract: Sheep more efficient in water and food use are desirable in a sustainable industry. The objective of this study was propose two new traits, efficiency in water use (EWU) and residual feed intake and efficiency in water use (RFIEWU). After that, we evaluate the relationships between total water intake and efficiency in water use with behavior, feed efficiency, morphometric indices, testicular and carcass (ultrasound) traits, in order to increase the sustainability of sheep industry. Were used 32 lambs, 3 months age, 16 Santa Ines breed (8 males and 8 females) and 16 crossbred 7/8 Dorper x Santa Ines (8 males and 8 females). They were fed in automated feed and water station (INTERGADO®), where the amount of food and water intake by each animal were measured automatically (hay and concentrate were offered separately). Efficiency in water use (EWU), residual feed intake (RFI) and residual body weight gain (RG) were calculated using the MIXED procedure in SAS®. Correlation coefficients between total water intake (TWI), EWU and all traits (behaviour, water measures, performance, testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements) were calculated using the CORR procedure ($p \leq 0.05$). There was positive correlation between less efficient animals in water use (positive EWU) and daily visits to the concentrate feeder ($r=0.05$); daily visits to the hay feeder ($r=0.09$); water intake ($r=0.27$); total time consuming water ($r=0.06$); total water intake in relation to dry matter intake ($r=0.26$); total water intake in relation to mid-trial metabolic body weight ($r=0.29$); residual feed intake and efficiency in water use ($r=0.99$); residual feed intake ($r=0.13$); residual body weight gain ($r=0.23$); wither height ($r=0.10$); body side indice ($r=0.10$). However, there was a negative correlation between less efficient animals in water use and total time consuming concentrate ($r= -0.08$); total time consuming hay ($r= -0.05$); residual intake and body weight gain ($r= -0.11$); right testicular diameter ($r= -0.10$); scrotal circumference ($r= -0.09$); proportionality indice ($r= -0.11$); anamorphosis indice ($r= -0.04$). To decrease water consumption and increase the efficiency in water use in sheep production, it is important to increase efficiency in feed use and decrease the size of the animals.

Keywords: Efficiency in water use, Indices, Residual feed intake, Residual feed intake and efficiency in water use, Water intake

1 INTRODUCTION

Water is an essential natural resource for sustaining life and therefore has been a cause of worldwide concern because of the evident signs of increasing scarcity and deterioration (SOARES; CAMPOS, 2013). The livestock industry require water for e.g. drinking and cleaning services, and for the cultivation of feed crops or for grass growth (RAN et al., 2017). This industry and meat consumption have been widely associated with the problem of global water scarcity, however generalizations are incorrect, as meat production systems are diverse both in farm practice and geography (RIDOUTT et al., 2012).

FAO (2009) included environmental sustainability in the millennium development goals and sheep producers should be committed to the efficient use of natural and financial resources (GOMES et al., 2012). The management of water resources is addressed by many experts as the greatest challenge of our time, especially where the scarcity of this resource has serious socioeconomic and environmental consequences caused by both physical water scarcity as the mismanagement of this resource (SOARES; CAMPOS, 2013).

Many countries in the world have water scarcity due to their low production efficiencies and annual water-stress levels, but the impact of pastoral farming on freshwater availability can potentially be reduced by practices that decrease water use, increase feed conversion efficiencies, increase the use of non-irrigated feed supplements, and reduce irrigation (ZONDERLAND-THOMASSEN; LIEFFERING; LEDGARD, 2014). It is necessary to raise awareness about the scarcity of natural resources and, for human survival, water should be treated as a limited, valuable and strategic good for the country (MACEDO, 2015).

Considering that the water crisis is not only restricted to climatic conditions, but also related to management and planning problems, it is fundamental to adopt measures for the correct use of water, avoiding waste (MACEDO, 2015). The priority

today is to overcome food deficiencies producing more food at the same time reducing land, water and energy use (CHRISTOFIDIS, 2006). It is on that counts that the objective of this study was propose two new traits, efficiency in water use (EWU) and residual feed intake and efficiency in water use (RFIEWU). After that, we evaluate the relationships between total water intake and efficiency in water use with behavior, feed efficiency, morphometric indices, testicular and carcass (ultrasound) traits, in order to increase the sustainability of sheep industry.

2 MATERIALS AND METHODS

This study was approved by the ethics committee on animal use of the Instituto de Zootecnia (CEUA-IZ), finding number 224-16.

The experiment was conducted at Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, São Paulo state, Brazil (latitude - 47° 19' 51" W e a longitude - 22° 47' 20" S). Thirty-two not castrated lambs (*Ovis aries*) with 3 months of age (soon after the weaning) and average initial weight of 18 ± 3.7 kg were used. Sixteen lambs were of the Santa Ines breed (8 males and 8 females) and 16 were of crossbred sheep 7/8 Dorper x Santa Ines (8 males and 8 females).

Sheep were allowed to adjust to the facilities and feeding system for 15 days and were tested for 65 days. They were housed in 2 indoor pens (males x females) bedded with sugar cane bagasse and were fed with grinded hay (*Cynodon* cv. Tifton 85), commercial concentrate, water and mineral salt, ad libitum (Table 1). Each pen contained four automated feed stations and one water station (INTERGADO®, Contagem, MG, Brazil). In two of the four feed stations was provided only hay and in the other two only concentrate. There was an electronic scale in each pen linked to the automatic waterers, where the animals were weighted every time they drank water.

Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.

Chemical composition	Commercial concentrate	Hay
Dry matter	88.9	93.0
Crude protein	19.8	13.4
Ether extract	1.9	1.4
Mineral matter ^a	13.5	6.9
Nitrogen-Free Extract	54.0	47.0
Acid detergent fiber	15.2	36.6
Neutral detergent fiber	37.6	74.3
Hemicellulose	22.4	37.7
Cellulose	.	31.3
Lignin	.	4.2
Total digestible nutrients (NDT)	67.8	62.6

^aComposition of product: calcium 120 g/kg, phosphorus 87 g/kg, sodium 147 g/kg; sulfur 18 g/kg, copper 590 mg/kg; cobalt 40 mg/kg, chromium 20 mg/kg, iron 1800 mg/kg, iodine 80 mg/kg, manganese 1300 mg/kg, selenium 15 mg/kg, zinc 3800 mg/kg; molybdenum 300 mg/kg; and fluorine (max.) 870 mg/kg. Dry matter, Ether extract, Mineral matter and Crude protein according to AOAC (2005); Neutral detergent fiber, Acid detergent fiber, Hemicellulose, Cellulose and Lignin according to Goering and Van Soest (1991); NDT according to Kears, 1982.

Each animal was fitted with an electronic identification device (EID) in his collar around the neck. Each time an animal inserted his head into the feed or water station, the INTERGADO® scanned his EID to record the amount of feed or water consumed in relation to its disappearance and feeding behavior events during 24 h a day. The automated feeder recorded daily: daily consumption of concentrate (DCC), hay (DCH) and water intake (WI), in kg; total time consuming concentrate (TTCC), hay (TTCH) and water (TTCW), in min; daily visits to the concentrate feeder (DVCF), hay feeder (DVHF) and waterer (DVW), in number of events.

With the equipment records and the chemical composition of the food was calculated: dry matter intake (DMI) = (concentrate consumption x dry matter content of concentrate) + (hay consumption x dry matter content of hay) (GOMES et al., 2012); water intake from food (WIF) = (concentrate consumption x water content of concentrate) + (hay consumption x water content of hay); total water intake (TWI from study) = water intake from the waterer + water intake from food.

The performance traits calculated were: total dry matter intake(concentrate+hay)/Body weight (DMI/BW); feed conversion ratio (FCR) =

DMI/ADG (ARTHUR; HERD, 2008); gain:feed ratio (G:F) = ADG/DMI (GOMES et al., 2012); average body weight (ABW) = mean of body weight during the feeding period (GOMES et al., 2012); mid-trial metabolic body weight (MMBW) = [(initial body weight + final body weight)/2]^{0.75} (KOCH et al., 1963); average daily gain (ADG) = (final weight – initial weight)/days on feed (YEAMAN; WALDRON; WILLINGHAM, 2013); residual feed intake (RFI) = DMI observed – DMI expected (KOCH et al., 1963); residual body weight gain (RG) = ADG observed – ADG expected (GOMES et al., 2012); residual intake and body weight gain (RIG) = [RFI x (-1)] + RG (GOMES et al., 2012).

The water use calculated were: total water intake from NRC equation (TWI from NRC) = 3.86 x dry matter intake - 0.99 (NRC, 2006); total water intake in relation to dry matter intake (TWI/DMI from study) = TWI/DMI; total water intake in relation to dry matter intake (TWI/DMI from NRC) = 0.18 x ambient temperature + 1.25 (NRC, 2006); total water intake in relation to mid-trial metabolic body weight (TWI/MMBW) = TWI/MMBW; efficiency in water use (EWU) = TWI observed – TWI expected; residual feed intake and efficiency in water use (RFIEWU) = RFI + EWU.

Every 14 days were taken the body and testicular morphometric measurements. The linear body measurements were (in cm): wither height (WH); body length (BL) and thoracic perimeter (TP) (BARTHOLAZZI JUNIOR et al., 2017). The testicular measurements were: scrotal circumference (SC), in cm and right testicular length (RTL), in mm (TOE et al., 2000).

Morphometric indices were calculated by the relation between morphometric measures and/or body weight (COSTA et al., 2014): body side indice (BSin) = withers height/body length x 100; compactness indice (Cin) = weight/withers height x 100; body proportionality indice (BPin) = compactness indice/body indice x 100. Other indices used was proportionality indice (Pin) = body length/withers height x100 (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010) and anamorphosis indice (Ain) = thoracic perimeter²/withers height x 100 (REZENDE et al., 2014).

On the last day of the experiment ultrasound pictures were obtained at 12th to 13th intercostal space (last but one and last rib) using a Chison D600VET (China) coupled to a linear transducer of 7.5 MHz. The software ImageJ® was used to measure, in mm, the height in Longissimus dorsi muscle (Hldm); ribeye area in Longissimus dorsi muscle (RAldm) and subcutaneous fat thickness (SFT) (MENEZES et al., 2013).

2.4. Statistical analyses

Residual feed intake (RFI) (KOCH et al., 1963), efficiency in water use (EWU) (adapted from Koch et al., 1963) and residual body weight gain (RG) (GOMES et al., 2012) were calculated using the MIXED procedure in SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Residual feed intake is the difference between actual dry matter intake and expected dry matter intake. The base model used to calculate estimated dry matter intake showed $R^2=0.6486$ and $BIC=-10.9$. After the inclusion of the traits sex, genetic group, feed efficiency (FE) and daily dry matter intake of concentrate as a function of percentage of live weight in the base model, it was observed a great increase in R^2 and decrease in BIC values ($R^2=0.9667$ and $BIC=-63.1$), increasing the precision of the prediction.

Residual body weight gain is the difference between actual average daily gain and expected average daily gain. The base model used to calculate estimated average daily gain showed $R^2=0.34$ and $BIC=-87.8$, but including the traits sex, genetic group and initial body weight there was a great increase in $R^2=0.997$ and decrease in $BIC=-206.4$.

The use of water by sheep can vary between animals due to body weight, dry matter intake, sex, breed, productivity and stage of production (maintenance, growth, gestation, lactation) (NRC, 2006). With this in mind, the adaptation of the RFI equation described by (KOCH et al., 1963) has proven to be possible to evaluate the “efficiency in water use”. It is the difference between observed total water intake and expected total water intake, trying to detect the most efficient animals in water use.

The observed total water intake (TWI study) is obtained by measuring the total daily water intake (waterer + feed) of each animal during the test period. The expected TWI is determined for each animal using an equation with total daily water intake, dry matter intake and live weight of the evaluated population (Table 2). The characterization of the animal live weight is performed by MMBW. Then a "multiple linear regression" analysis is performed, which will create the valid equation for the evaluated population. The inclusion of sex, genetic group and daily visits to the waterer in the base model showed a great increase in R^2 and BIC, and then these traits were maintained in the model.

Thus, each animal will have the observed TWI and the expected TWI during the study, allowing the calculation of the “efficiency in water use”.

$$\text{Efficiency in water use (kg/dia)} = \text{TWI}_{\text{observed}} \text{ (kg/dia)} - \text{TWI}_{\text{expected}} \text{ (kg/dia)}$$

Table 2: Equation models used in the “multiple linear regression” to estimate water intake for the calculation of efficiency in water use and respective fit as indicated by coefficient of determination (R²) and bayesian information criteria (BIC).

Model	Equation	R ²	BIC
Model 1	$y(\text{EWI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \varepsilon$	0.5562	59.3
Model 2	$y(\text{EWI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \varepsilon$	0.6294	55.7
Model 3	$y(\text{EWI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \beta_5(\text{DVW}) + \varepsilon$	0.80	43.2

*Model adapted from Koch et al. (1963).

EWI = expected water intake. ADG = average daily gain. MMBW = mid-trial metabolic body weight - $[(\text{BW}_{\text{initial}} + \text{BW}_{\text{final}})/2]^{0.75}$. GG = genetic group. DVW = daily visits to the waterer. ε = residuals (represents the efficiency in water use). TWI = total water intake. R² = coefficient of determination (bigger is better). BIC = bayesian information criteria (smaller is better).

y = expected water intake. β_0 = regression intercept. β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 are the coefficient of the multiple linear regression of TWI on ADG, MMWT, sex (male or female), genetic group (santa ines or dorper x santa ines) and DVW, respectively.

Correlation coefficients between TWI and EWU with all traits (behaviour, water measures, performance, testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements) were calculated using the CORR procedure (Pearson method). Results were considered statistically significant when $p \leq 0.05$.

3 RESULTS

The descriptive statistics of all traits studied are presented in Table 3 and 4.

Table 3: Mean, standard deviation, minimum and maximum of behaviour traits and water measures.

Variable	Mean±SD	Minimum	Maximum
Total time consuming concentrate (min/day)	95.48±41.02	8	228
Daily visits to the concentrate feeder (number/day)	126.98±61.89	16	256
Total time consuming hay (min/day)	13.69±12.77	0	35
Daily visits to the hay feeder (number/day)	81.7±44.28	1	187
Water intake from the waterer (L/day)	2.99±1.36	0	5.22
Total time consuming water (min/day)	6.75±5.53	0	17
Daily visits to the waterer (number/day)	6.72±2.94	1	20
Water intake from food (L/day)	0.16±0.05	0.03	0.57
Total water intake - study (L/day)	3.15±1.37	0.5	7.47
Total water intake - equation from NRC, 2006 (L/day)	4.19±1.71	0.8	8.69
Total water intake/dry matter intake - study (L/kg/day)	2.44±1.07	0.12	5.12
Total water intake/dry matter intake - equation from NRC, 2006 (L/kg/day)	3.02±0.33	0.28	3.64
Total water intake/mid-trial metabolic body weight (L/kg)	0.25±0.10	0.008	1.12
Efficiency in water use (L)	-0.0002±0.37	-0.89	0.66
Residual feed intake and efficiency in water use (kg)	-3.23±0.37	-0.91	0.66

Table 4: Mean, standard deviation, minimum and maximum of performance, testicular parameters, carcass ultrasound (final trial), body morphometric and indices measures.

Variable	Mean±SD	Minimum	Maximum
Dry matter intake (kg/day)	1.34±0.44	0.28	4.58
Dry matter intake/Body weight (%BW/day)	4.54±1.20	1.43	8.04
Feed conversion ratio (kg/kg)	4.90±1.53	0.84	5.21
Gain:feed ratio (kg/kg)	0.23±0.08	0.04	1.19
Average body weight (kg)	28.89±4.53	18.75	37
Mid-trial metabolic body weight (kg)	12.43±1.48	9.01	15
Average daily gain (kg/day)	0.24±0.05	0.14	0.35
Residual feed intake (kg)	-0.00009±0.05	-0.11	0.09
Residual body weight gain (kg)	-2.10±0.002	-0.004	0.008
Residual intake and body weight gain (kg)	0.00003±0.05	-0.08	0.111
Wither height (cm)	59.12±3.88	47	71
Thoracic perimeter (cm)	74.86±7.19	54	90
Body length (cm)	66.19±6.46	45	79
Right testicular length (mm)	66.00±20.94	20.5	124.2
Right testicular diameter (mm)	45.18±13.84	10	83
Scrotal circumference (cm)	22.65±4.44	10	30
Height in Longissimus dorsi muscle (cm)	2.55±0.37	1.73	3.61
Ribeye area in Longissimus dorsi muscle (cm)	10.18±2.35	6.36	16.63
Subcutaneous fat thickness (mm)	1.57±0.43	0.92	2.77
Proportionality indice	112.00±8.85	81.82	135.09
Body side indice	89.84±7.25	74.03	122.22
Anamorphosis indice	95.59±16.80	59.07	139.66
Compactness indice	45.38±8.75	24	68.97
Body proportionality indice	51.51±10.72	25.87	77.6

The correlations between total water intake and efficiency in water use with behavior, water measures, performance traits, body measures and morphometric indices are described in Table 5.

The total water intake showed positive correlation with behavior traits TTCC ($r=0.09$) and DVCF ($r=0.24$); water measures WI ($r=0.99$), TTCW ($r=0.28$), DVW ($r=0.57$), TWI/DMI ($r=0.64$), TWI/MMBW ($r=0.95$), RFIEWU ($r=0.28$); performance

traits DMI ($r=0.47$), DMI/BW ($r=0.24$), FCR ($r=0.21$), MMBW ($r=0.42$), ADG ($r=0.34$), RFI ($r=0.11$), RG ($r=0.11$); body measures WH ($r=0.24$), TP ($r=0.24$), BL ($r=0.33$), RTD ($r=0.23$), SC ($r=0.24$) and body indices Pin ($r=0.21$), Ain ($r=0.17$), Cin ($r=0.33$), BPin ($r=0.25$). The correlation was negative with feeding behavior related to hay consumption TTCH ($r= -0.05$); performance traits G:F ($r= -0.25$) and RIG ($r= -0.10$) and body indice BSin ($r= -0.20$).

Less efficient animals in water use (positive EWU) showed highest values for behavior traits DVCF ($r=0.05$) and DVHF ($r=0.09$); water measures WI ($r=0.27$), TTCW ($r=0.06$), TWI/DMI ($r=0.26$), TWI/MMBW ($r=0.29$) and RFIEWU ($r=0.99$); performance traits RFI ($r=0.13$) and RG ($r=0.23$); body measures WH ($r=0.10$); body indice BSin ($r=0.10$). In addition, less efficient animals in water use showed lower values for behavior traits TTCC ($r= -0.08$) and TTCH ($r= -0.05$); performance trait RIG ($r= -0.11$); body measures RTD ($r= -0.10$) and SC ($r= -0.09$); body indice Pin ($r= -0.11$) and Ain ($r= -0.04$).

Table 5: Correlation between total water intake (TWI study) and efficiency in water use (EWU) x behavior, water measures, performance traits, body measures and morphometric indices.

Behavior traits									
	TTCC	DVCF	TTCH	DVHF					
TWI	0.09**	0.24**	-0.05**	0.15**					
EWU	-0.08**	0.05*	-0.05*	0.09**					
Water measures									
	WI	TTCW	DVW	TWI/DMI	TWI/MMBW	RFIEWU			
TWI	0.99**	0.28**	0.57**	0.64**	0.95**	0.28**			
EWU	0.27**	0.06*	0.003 ^{ns}	0.26**	0.29**	0.99**			
Performance traits									
	DMI	DMI/BW	FCR	G:F	MMBW	ADG	RFI	RG	RIG
TWI	0.47**	0.24**	0.21**	-0.25**	0.42**	0.34**	0.11**	0.11**	-0.10**
EWU	0.02 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.0006 ^{ns}	-0.001 ^{ns}	0.13**	0.23**	-0.11**
Body measures									
	WH	TP	BL	RTD	SC	Hldm	RAldm	SFT	
TWI	0.24**	0.24**	0.33**	0.23**	0.24**	0.27 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.15 ^{ns}	
EWU	0.10**	-0.01 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.10*	-0.09*	0.02 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.17 ^{ns}	
Morphometric indices									
	Pin	BSin	Ain	Cin	BPin				
TWI	0.21**	-0.20**	0.17**	0.33**	0.25**				
EWU	-0.11**	0.10**	-0.04*	-0.003 ^{ns}	0.01 ^{ns}				

** p<0.001; *p<0.05.

ADG = average daily gain; Ain = anamorphosis indice; BL = body length; BPin = body proportionality indice; BSin = body side indice; Cin = compactness indice; DMI = dry matter intake; DMI/BW = dry matter intake/Body weight; DVCF = daily visits to the concentrate feeder; DVHF = daily visits to the hay feeder; DVW = daily visits to the waterer; EWU = efficiency in water use; FCR = feed conversion ratio; G:F = gain:feed ratio; Hldm = height in Longissimus dorsi muscle; MMBW = mid-trial metabolic body weight; Pin = proportionality indice; RAldm = ribeye area in Longissimus dorsi muscle; RFI = residual feed intake; RFIEWU = residual feed intake and efficiency in water use; RG = residual body weight gain; RIG = residual intake and body weight gain; RTD = right testicular diameter; SC = scrotal circumference; SFT = subcutaneous fat thickness; TP = thoracic perimeter; TTCC = total time consuming concentrate; TTCH = total time consuming hay; TTCW = total time consuming water; TWI = total water intake; TWI/DMI = total water intake/dry matter intake; TWI/MMBW = total water intake/mid-trial metabolic body weight; WH = wither height; WI = water intake from the waterer.

The correlation between EWU and RFIEWU was $r=0.99$ and, consequently, the correlations between RFIEWU and the other traits measures during the study were very similar to the correlations observed between EWU and the other traits measured during the study. However, the correlation between RFIEWU x RFI ($r=0.21$), RG

($r=0.27$) and RIG ($r= -0.19$) were a bit higher than the observed between EWU and these traits.

There was no significant correlation between total water intake, efficiency in water use, residual feed intake and efficiency in water use and carcass traits measured by ultrasound.

4 DISCUSSION

It is important for both animal welfare and business profitability that sheep have an adequate supply of good quality water (MARKWICK, 2007). The water inside the body of the animals is responsible for several vital functions, such as transport of heat, hormones, ions, nutrients, and metabolites and is a medium for elimination of metabolic and products (NRC, 2006). Knowledge of water use efficiency for processing into animal products is important in order to improve production and investment patterns that have the least negative impact on the environment and society, encouraging sustainability.

The use of water can vary between animals of the same species due to body weight, dry matter intake, season (ambient temperature variations), breed, production system (feedlots or grazing), productivity, stage of production (maintenance, growth, gestation, lactation) and sex (NRC, 2006). Based on these concepts, we adapted the residual feed intake model suggested by (KOCH et al., 1963) to an efficiency in water use model. The equation model used to estimate water intake for the calculation of efficiency in water use considered the traits average daily gain, mid-trial metabolic body weight, genetic group and daily visits to the waterer and showed high coefficient of determination (0.80), where bigger is better, and low bayesian information criteria (43.2), where smaller is better.

Understanding of water use by sheep is essential, considering the climate changes forecast and thus water can be spent efficiently to produce more feed; or lower water volumes can be used in livestock production resulting in low yields but then water may be applied to other uses (ARAÚJO et al., 2010). Efficiency in water

use values ranged from -0.89 to 0.66 L, with an average of -0.0002 ± 0.37 L. Then, the most efficient animal in water use (negative EWU) ingested -0.89 litres of water per day and the least efficient animal (positive EWU) ingested 0.66 litres of water per day, when compared to the mean of the studied population. Additionally, the less efficient animals ingested more water from the waterer and spent more time drinking water.

Water can be available to animals in three ways: direct voluntary intake (drinking), food and animals metabolic reactions that produce water (NRC, 2006). We measured the total water intake (water intake from the waterer + water intake from food) by the animals during the studied period and compared it with the expected total water intake obtained with the equation suggested by NRC (2006). There was an average difference of 1.04 L/day between the expected total water intake (4.19 ± 1.71 L/day) and the value obtained in this study (3.15 ± 1.37 L/day). From the total water intake by the animals, 94.92% (2.99 ± 1.36 L/day) was voluntary consumption of water by drinking and only 5.08% (0.16 ± 0.05 L/day) was intake from concentrate and hay (0.16 ± 0.05 L/day).

The measured voluntary intake of water by an animal is an indication of its water requirements (FORBES, 1968). This information helps producers to get an idea of the volume of water needed to develop their activities, allowing them to compare water demand and improve water availability (SOARES; CAMPOS, 2013). However, the consumption of livestock drinking water is rarely measured directly and the actual consumption is variable and known to depend on a wide range of factors including weather, availability of shade, time since shearing, water quality, breed, lactation and diet (MARKWICK, 2007).

Performance traits

Feed is a major cost of sheep production, and improved conversion of feed into product is one approach to increasing the profitability of an enterprise (CAMMACK et al., 2005). In the past, producers have primarily focused on feed conversion ratios; however, animals with similar ratios differ in feed intake and rate of gain (COCKRUM et al., 2013).

Residual feed intake (RFI) has been extensively studied as a feed efficiency measurement, because it is independent of growth traits (REDDEN et al., 2013). The RFI reflects the variation in feed intake upon adjustment for body size, body weight

gain and body composition (MONTANHOLI et al., 2017). Thus, the residual of this determination represents variation in the requirements for basal metabolic processes rather than differences in productivity, constituting a relevant trait in the search of biological indicators for feed efficiency (MONTANHOLI et al., 2017). More efficient animals in water use (negative EWU) ingest less water and are more efficient in food use (negative RFI). Therefore, in addition to reducing food expenses, there is a reduction in the use of water by the system.

Residual body weight gain (RG) is defined as the difference between actual and predicted daily BW gain, with greater or positive values desirable, and improved RG is associated with faster growth rates but is not associated with differences in feed intake and (Crowley et al., 2010; Berry and Crowley, 2012). The independence with BW is cited to be important to ensure that selection on RFI or RG has a minimal impact on mature animal BW (BERRY; CROWLEY, 2012). Animals who ingested more water and less efficient in water use showed faster growth rates. This can be explained by the fact that the total water intake was more related to DMI of concentrate ($r=0.46$, $p<0.001$) than to the DMI of hay ($r=0.15$, $p<0.001$).

Residual intake and BW gain (RIG) is a trait proposed by Berry and Crowley (2012), which retains the favorable characteristic of both RFI (reduced DMI) and RG (greater ADG), being independent of BW to ensure that selection on RFI or RG has a minimal impact on mature animal BW. RIG was calculated as the sum of $-1 \times$ RFI and RG, multiplying RFI by -1 to account for a negative RFI being favorable compared with a positive RG being favorable, so superior (i.e., high) RIG animals eat less and grow fast (BERRY; CROWLEY, 2012). Animals more efficient in water use and those who ingested less water showed high RIG, so ate less and grew fast. This can be related to the fact that the more efficient animals in feed use requires less nutrients for basal metabolic processes (MONTANHOLI et al., 2017) and that one function of the water in the body is the elimination of waste products of digestion and metabolism, which results in a substantial and continuing loss of water (FREER; DOVE; NOLAN, 2007). Therefore, animals which spend less nutrients on metabolism, can also spend less water.

We propose in this study, in addition to the trait efficiency in water use, the trait residual feed intake and efficiency in water use (RFIEWU), due to the lack of traits that measure the efficiency in water use by the studies. This trait is similar to residual intake

and body weight gain (RIG), proposed by Berry and Crowley (2012), but we considered the favorable characteristic of both residual feed intake and efficiency in water use.

Berry and Crowley (2012) explained that RIG was calculated multiplying RFI by -1 to account for a negative RFI being favorable compared with a positive RG being favorable. However, as both traits considered in our study are interpreted in the same way, where positive values are related to less efficient animals (these animals ingested more food or water when compared with the means of contemporaries, during the period of test), we just sum the RFI and EWU. The sheep negative in RFIEWU (more efficient) are more desirable in a system because, in addition to economic factors, they can adapt to more hostile environments, with water and food problems, without compromising too much on performance and welfare of those animals.

When water is freely available, total water intake correlates with dry matter intake (NRC, 2006), but the amounts drunk are lower with green, moist pasture or forage than with dry feeds (FREER; DOVE; NOLAN, 2007). The relation total water intake/dry matter intake was 2.44 ± 1.07 L/kg/day, which means that the animals ingested approximately 2.44 L of water per kg of dry matter per day. Animals more efficient in water use (negative EWU) showed smaller values for this relation, so they ingested less water per kg of dry matter per day. This value was a little different from the obtained with the equation suggested by NRC (2006) for this relation, which was 3.02 ± 0.33 L/kg/day. Estimates for lambs are 4–6 l water/kg DMI at 16–25°C or 2 l water/kg DM at 15°C, for growing animals (FREER; DOVE; NOLAN, 2007). This estimates are in accordance with our results, where the average temperature in indoor pens during the experiment was 20.34 ± 3.9 °C, with minimum of 10.4 °C and maximum of 28.3 °C.

The higher the total water intake, the higher the values of dry matter intake in relation to body weight, mid-trial metabolic body weight and average daily gain. The mid-trial metabolic body weight is calculated to correct discrepancies in efficiency due to possible differences in live weight and represents the live weight at the midpoint of the evaluation period, raised to 0.75 (GOMES et al., 2012). The use of water can vary between animals due to body weight and dry matter intake (NRC, 2006). Approximately 25% of the variation in feed intake and in growth rate is genetically determined and genes that increase growth rate also increase feed intake to a large extent (CAMMACK et al., 2005). The relation total water intake/mid-trial metabolic body

weight was 0.25 ± 0.10 L/kg, which means that the animals ingested approximately 0.25 L of water per kg of body weight (considering the mid-trial body weight). Moreover, the more efficient animals in water use ingested less water per kg of body weight.

Feed conversion ratio (FCR) and gain: feed ratio (G:F) were traditionally the most commonly used measure to quantify feed efficiency, but they do not consider the maintenance requirements and animals with high feed efficiency present high age and body weight at maturity (HERD; BISHOP, 2000). While FCR is the amount of food ingested for 1.0 kg of live weight gain (smaller is more desirable), G:F is the amount of live weight gained with the intake of 1.0 kg of food (bigger is more desirable) (GOMES et al., 2012). FCR and G:F ratio were 4.9 ± 1.53 and 0.23 ± 0.08 , which means that the animals ate an average of 4.9 kg of DMI for each kg of live weight gained or gained 0.23 kg of live weight with the intake of 1.0 kg of food. The increase in total water intake was related to increase in FCR and decrease in G: F ratio. So, in addition to the animals consuming more food for gain of 1.0 kg of live weight, they also ingested more water.

Behavior traits

The maintenance requirements of ruminants increases when feed intake increases, because of the increase in size of the digestive organs, energy expended to digest the feed and energy expended within the tissues themselves (HERD; ARTHUR, 2009). The animals also spend energy eating (eating time, eating frequency), chewing, ruminating, standing and walking (LANCASTER et al., 2009).

In our study, the spent energy in feeding behaviors of less efficient animals in water use was more related to the displacement to the feed stations (concentrate and hay), not with the time consuming food. Furthermore, the total water intake increased when the animals have spent more time eating concentrate, drinking water; when they moved more to the feed stations (concentrate and hay) and to the waterer. Therefore, sheep that eat more meals per day and spend more time eating, besides shows greater feed intake and growth rate (CAMMACK et al., 2005), tended to ingested more water and be less efficient in water use.

The mean daily feeding time in our study (95.48 ± 41.02 for concentrate + 13.69 ± 12.77 for hay) was similar with average for ram lambs in Cammack et al. (2005) study (118.3 ± 20.3 min). However, the mean number of feeding events per day in our study (126.98 ± 61.89 for concentrate + 81.7 ± 44.28 for hay) was much higher than the

mean observed by Cammack et al. (2005), of 16.6 ± 5.83 . This marked difference can be attributed to the different quantities of feed stations among studies. In Cammack et al. (2005) study, were used eight feed stations for groups of 11 or 9 lambs, but in our study were used 4 feed stations (2 with concentrate and 2 with hay) for groups of 16 lambs.

In our study the access to the food was limited to one lamb at a time and the back of the lambs who were feeding were left out of the feed station. The animals that wished to have access to food front-kicked, mounted and/or pushed with the head the flank of the animal that was feeding. The interactions between the lamb in the feed station and those awaiting access may increase the number of events (CAMMACK et al., 2005), because the animal disturbed that was eating removed and returned the neck with the electronic identification device immediately into the feed station or got out of the feed station and returned if there was an opportunity.

Body measures

The body measurements (wither height, body length and thoracic perimeter) are simple, quickly executed and useful to identify superior individuals for carcass traits (CEZAR; SOUSA, 2010). Animals less efficient in water use showed higher wither height and the increase in total water intake was related to higher wither height, body length and thoracic perimeter. Animals with larger body size required more water for proper digestion and feed utilization (ARAÚJO et al., 2010), so reduction in the body size is good to reduce energy and water requirements for thermoregulation, energy and mass acquisition and utilization rates (GARDNER et al., 2011).

Animals of beef breeds usually have lower limbs and a more compact body shape, with smaller height and body length in relation to their body depth, thus seeking a higher percentage of the trunk in detriment of corporal extremities, since the greater proportion of the carcass comes from the trunk (CARTAXO et al., 2017). Costa et al. (2014) found high correlation between thoracic perimeter and live weight ($r=0.94$), increasing simultaneously.

We observed that animals more efficient in water use, which ingested more water, had higher testicular measures. In addition, the higher the water intake, the higher dry matter intake of concentrate. Rams with higher testicular diameter and scrotal circumference are better in sperm production (ELMAZ et al., 2008) and,

consequently, in breeding ability (BENOÎT et al., 2017). Nutritional factors can influence the testicles size, with increase in scrotal circumference with a high-energy food (concentrate) (MACEDO JUNIOR et al., 2014).

The ultrasound measures of height and ribeye area in *Longissimus dorsi* muscle estimate the distribution of muscularity in the body, while the subcutaneous fat thickness is correlated with the fat present in the carcass, which must be reduced, but sufficient to protect the carcass for weight loss during the cooling, correct conservation and adequate sensorial quality (Cezar and Sousa, 2010; Queiroz et al., 2015). The absence of correlation between total water intake, efficiency in water use and residual feed intake and efficiency in water use with carcass traits measured by ultrasound is positive. It means that these efficiency traits were phenotypically independent of carcass traits, traits of economic importance (COCKRUM et al., 2013). Moreover, the fat deposition occurs after stabilization of muscle growth (PAULA et al., 2013), but we used lambs with 155 days at the end of the study and they could be at a less advanced stage in the growth curve, then the proportion of fat in the body gain composition was probably not representative enough to detect significant results at this age.

Morphometric indices

The indices resulting from the relationship among various linear body measurements or between them and body weight are used to describe the size and proportion of an animal (KHARGHARIA et al., 2015).

We observed that the animals more efficient in water use showed lower value for body side indice. Animals with smaller body side indice are closer to a rectangle, a predominant form in animals with aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007). Lambs more efficient in water use also shown higher values for proportionality indice and anamorphosis indice. Animals with higher value of proportionality indice shows more aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007) and with higher anamorphosis indice are more robust (CHACÓN et al., 2011).

Animals with higher total water intake showed higher proportionality, anamorphosis, compactness and body proportionality indices, but lower body side indice. It means that these animals showed more aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007), are more robust (CHACÓN et al., 2011) and compact (the body weight increase and wither height decrease) (COSTA et al., 2014).

5 CONCLUSION

Animals more efficient in water use are more efficient in food use, spend more time consuming concentrate and hay, visit less concentrate and hay feeders, have more aptitude to beef, are more robust and have higher testicular measures.

To decrease water consumption and increase the efficiency in water use in sheep production, it is important to increase efficiency in feed use and decrease the size of the animals.

Performance traits and carcass characteristics are not adversely affected by selecting for efficiency in water use in sheep.

REFERENCES

- ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; CHIZZOTTI, M. L.; TURCO, S. H. N.; CARVALHO, F. F. R. Water and small ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 326–336, 2010.
- ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. Special supplement, p. 269–279, 2008.
- BARTHOLAZZI JUNIOR, A.; QUIRINO, C. R.; MATOS, L. F.; VEGA, W. H. O.; RUA, M. A. S.; CASTRO, T.; FREITAS, A. C. B.; RIBEIRO, M. S. Medidas lineares de equinos da raça Pônei Brasileiro. **Revista eletrônica de veterinária**, v. 18, n. 2, p. 1–12, 2017.
- BENOÎT, K. G.; ULBAD, T. P.; CYRILLE, B. K.; SERGE, Z. M.; CHRISTIAN, H. Relationships between body size and testicular morphometric traits of mature rams of djallonke and ouda breeds reared in north Benin. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, v. 6, n. 1, p. 53–59, 2017.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109–115, 2012.
- BRAVO, S.; SEPÚLVEDA, N. Índices Zoométricos en Ovejas Criollas Araucanas. **International Journal of Morphology**, v. 28, n. 2, p. 489–495, 2010.

CAMMACK, K. M.; LEYMASTER, K. A.; JENKINS, T. G.; NIELSEN, M. K. Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior, and daily gain in composite ram lambs. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 4, p. 777–785, 2005.

CARTAXO, F. Q.; SOUSA, W. H.; CEZAR, M. F.; CUNHA, M. G. G.; MENEZES, L. M.; RAMOS, J. P. F.; GOMES, J. T.; VIANA, J. A. Desempenho e características de carcaça de cordeiros Santa Inês e suas cruzas com Dorper terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 18, n. 2, p. 388–401, 2017.

CASANOVA, P.; PERE-MIQUEL, L. S. D. Análisis biométrico y funcional de la raza ovina aranesa. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2007.

CEZAR, M. F.; SOUSA, W. H. Proposta de avaliação e classificação de carcaças de ovinos deslanados e caprinos. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 4, p. 41–51, 2010.

CHACÓN, E.; MACEDO, F.; VELÁZQUEZ, F.; PAIVA, S. R.; PINEDA, E.; MCMANUS, C. Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1671–1679, 2011.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista de Ciências Exatas**, v. 12, n. 1, p. 37–46, 2006.

COCKRUM, R. R.; STOBART, R. H.; LAKE, S. L.; CAMMACK, K. M. Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. **Small Ruminant Research**, v. 113, n. 2–3, p. 313–322, 2013.

COSTA, R. L. D.; QUIRINO, C. R.; AFONSO, V. A. C.; PACHECO, A.; BELTRAME, R. T.; MADELLA-OLIVEIRA, A. F.; COSTA, A. M.; SILVA, R. M. C. Morphometric indices in santa inês sheep. **International Journal of Morphology**, v. 32, n. 4, p. 1370–1376, 2014.

ELMAZ, O.; DIKMEN, S.; CIRIT, U.; DEMIR, H. Prediction of postpubertal reproductive potential according to prepubertal body weight, testicular size, and testosterone concentration using multiple regression analysis in Kivircik ram lambs. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 32, n. 5, p. 335–343, 2008.

FAO. **Capacitação para implementar boas práticas de bem-estar animal**. [s.l.: s.n.]

FORBES, J. M. The water intake of ewes. **British Journal of Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 33–43, 1968.

FREER, M.; DOVE, H.; NOLAN, J. V. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood Vic: CSIRO Publishing, 2007.

GARDNER, J. L.; PETERS, A.; KEARNEY, M. R.; JOSEPH, L.; HEINSOHN, R. Declining body size: A third universal response to warming? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 26, n. 6, p. 285–291, 2011.

GOMES, R. C.; SANTANA, M. H. A.; FERRAZ, J. B. S.; LEME, P. R.; SILVA, S. L.

Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2012.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, p. 64–71, 2009.

HERD, R. M.; BISHOP, S. C. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. **Livestock Production Science**, v. 63, p. 111–119, 2000.

KHARGHARIA, G.; KADIRVEL, G.; KUMAR, S.; DOLEY, S.; BHARTI, P. K.; DAS, M. Principal component analysis of morphological traits of assam hill goat in esatern Himalayan India. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 25, n. 5, p. 1251–1258, 2015.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.

LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; RIBEIRO, F. R. B.; TEDESCHI, L. O.; CREWS, D. H. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 4, p. 1528–1539, 2009.

MACEDO, M. F. S. Técnicas de irrigação, o desenvolvimento da agricultura e do agronegócio : Uma análise á luz da proteção humana e da cidadania frente á crise hídrica nacional. **Campo Jurídico**, v. 3, n. 2, p. 39–54, 2015.

MACEDO JUNIOR, G. L.; ASSIS, R. M.; PEREZ, J. R. O.; PAULA, O. J.; FRANÇA, P. M.; ALMEIDA, T. R. V. Biometria testicular de cordeiros em diferentes idades e alimentados com níveis crescentes de fibra em detergente neutro oriunda da forragem. **Ciência animal brasileira**, v. 15, n. 4, p. 384–399, 2014.

MARKWICK, G. Water requirements for sheep and cattle. **Primefacts**, v. 326, n. January, p. 1–4, 2007.

MENEZES, A. M.; LOUVANDINI, H.; ESTEVES, G. I. F.; DALCIN, L.; CANOZZI, M. E. A.; BARCELLOS, J. O. J.; MCMANUS, C. Performance and carcass traits of Santa Ines lambs finished with different sources of forage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 6, p. 428–437, 2013.

MONTANHOLI, Y. R.; HAAS, L. S.; SWANSON, K. C.; COOMBER, B. L.; YAMASHIRO, S.; MILLER, S. P. Liver morphometrics and metabolic blood profile across divergent phenotypes for feed efficiency in the bovine. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 59, n. 24, p. 1–11, 2017.

NRC. Nutrient requeriments of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2006.

PAULA, E. F. E.; MONTEIRO, A. L. G.; SOUZA, D. F.; PRADO, O. R.; NOMURA, T. M.; STIVARI, T. S. S.; SILVA, C. J. A.; SANTANA, M. H. A. Consumo alimentar residual e sua relação com medidas de desempenho e eficiência e características in

vivo da carcaça de cordeiros. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 2, p. 566–572, 2013.

QUEIROZ, L. O.; SANTOS, G. R. A.; MACÊDO, F. A. F.; MORA, N. H. A. P.; TORRES, M. G.; SANTANA, T. E. Z.; MACÊDO, F. G. Características quantitativas da carcaça de cordeiros Santa Inês, abatidos com diferentes espessuras de gordura subcutânea. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 16, n. 3, p. 712–722, 2015.

RAN, Y.; VAN MIDDELAAR, C. E.; LANNERSTAD, M.; HERRERO, M.; DE BOER, I. J. M. Freshwater use in livestock production???To be used for food crops or livestock feed? **Agricultural Systems**, v. 155, p. 1–8, 2017.

REDDEN, R. R.; SURBER, L. M. M.; GROVE, A. V.; KOTT, R. W. Growth efficiency of ewe lambs classified into residual feed intake groups and pen fed a restricted amount of feed. **Small Ruminant Research**, v. 114, n. 2–3, p. 214–219, 2013.

REZENDE, M. P. G.; LUZ, D. F.; RAMIRES, G. G.; OLIVEIRA, M. V. M. Índices zootécnicos de novilhas da raça pantaneira. **Veterinária e Zootecnia**, v. 21, n. 4, p. 550–555, 2014.

RIDOUTT, B. G.; SANGUANSRI, P.; NOLAN, M.; MARKS, N. Meat consumption and water scarcity: beware of generalizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 127–133, 2012.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, p. 48–57, 2013.

TOE, F.; REGE, J. E. O.; MUKASA-MUGERWA, E.; TEMBELY, S.; ANINDO, D.; BAKER, R. L.; LAHLOU-KASSI, A. Reproductive characteristics of Ethiopian highland sheep I. Genetic parameters of testicular measurements in ram lambs and relationship with age at puberty in ewe lambs. **Small Ruminant Research**, v. 36, p. 227–240, 2000.

YEAMAN, J. C.; WALDRON, D. F.; WILLINGHAM, T. D. Growth and feed conversion efficiency of Dorper and Rambouillet lambs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 10, p. 4628–4632, 2013.

ZONDERLAND-THOMASSEN, M. A.; LIEFFERING, M.; LEDGARD, S. F. Water footprint of beef cattle and sheep produced in New Zealand: Water scarcity and eutrophication impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 253–262, 2014.

THE INDIVIDUAL FEED INTAKE CAN BE REPLACED BY PERFORMANCE OR MORPHOLOGICAL TRAITS IN SHEEP?

Abstract: Measuring individual feed intake is difficult and expensive due to facilities, equipment and labor. The objective of this research was evaluate the relationships between dry matter intake (DMI), productive performance traits, morphometric indices, testicular measurements and carcass traits by ultrasound in sheep. Thirty-two lambs with 3 months of age, males and females, Santa Ines purebred and Dorper with Santa Ines crossbreed were used. The grinded hay and commercial concentrate were provided separately in automated feed stations. The productive performance traits, body and testicular measures, morphometric indices and carcass traits by ultrasound were measured. Correlation coefficients between DMI and all traits were calculated ($p \leq 0.05$). The results showed that the greater the DMI, the greater the DMI in relation to body weight ($r=0.70$), DMI of concentrate and hay in relation to body weight ($r=0.49$ and 0.13 , respectively). Partial efficiency of maintenance ($r=0.93$), feed conversion ratio ($r=0.78$), residual feed intake ($r=0.11$), average body weight ($r=0.57$), mid-trial metabolic body weight ($r=0.48$) and average daily gain ($r=0.36$), Kleiber ratio ($r=0.09$), testicular measures ($0.44 < r < 0.47$), carcass ($0.45 < r < 0.56$), morphometric indices ($0.36 < r < 0.58$) measures were higher when the DMI was higher ($0.36 < r < 0.58$). However, the higher the DMI, the lower the gain:feed ratio ($r=-0.68$), relative growth rate ($r=-0.04$) and body side indice ($r=-0.36$). The selection for feed efficiency traits, body measures and morphometric indices, testicular and carcass traits should be made with caution, as they increase the dry matter intake. This increase in dry matter intake may increase the size and the need for nutrients destined to the maintenance of the animals.

Keywords: carcass, dry matter intake, feed efficiency, indices, Ovis aries, testicular

1 INTRODUCTION

Livestock feed costs have risen rapidly over the last decade, impacting profitability of livestock producers and renewing industry and scientific interests in feed efficiency (MEYER et al., 2015). The feed efficiency of animals provides the potential to identify and select animals with an improved ability to convert feed into animal product, decreasing feeding costs (DE PAULA et al., 2013).

Traditionally it has been used several feed efficiency measures (equations) and many of them consider the feed intake by each animal to relate to the efficiency, such as: feed conversion ratio (FCR), residual feed intake (RFI) (ARTHUR; HERD, 2008), feed conversion efficiency (FCE) (YEAMAN; WALDRON; WILLINGHAM, 2013), gain:feed ratio (G:F) and partial efficiency of maintenance (PEM) (Sharifabadi et al., 2016). For these equations the feed intake must be transformed in daily dry matter intake (DMI), which is all food without the water contained in it (GOMES et al., 2012).

Measuring individual animal feed intake is difficult and expensive (ARTHUR; HERD, 2008) and under commercial conditions it is usually highly impracticable (SUTHERLAND, 1965). This measure can be taken in individual or collective pen and both are expensive because of the modification of the facilities. The individual pen requires extra work (weigh the amount of food offered and the leftover) and can be negative to sheep behaviour. Sheep maintain large gregarious groups and spend large amount of time in close proximity with conspecifics (TAMIOSO et al., 2017). All events inducing separation from conspecifics can have a major impact on their behaviour, can induce severe psychological stress (LANSADE; BOUISSOU; ERHARD, 2008) and can interfere with the feeding intake. The collective pen is more expensive than the individual one due to the acquisition and complex maintenance operations in automated feed stations.

If a correlated trait that is easier and more economical to measure can be identified, indirect selection to improve feed efficiency would be a more practical approach (SNOWDER; VAN VLECK, 2003). Therefore, the objective of this research was evaluate the relationships between DMI and feed efficiency traits (that consider or not DMI in the equations), body measures and morphometric indices, testicular

measurements and carcass traits by ultrasound in sheep, trying to replace the individual feed intake measure to a simpler and cheaper measure.

2 MATERIALS AND METHODS

This study was approved by the ethics committee on animal use of the Instituto de Zootecnia (CEUA-IZ), finding number 224-16.

The experiment was conducted at Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, São Paulo state, Brazil (latitude - 47° 19' 51" W e a longitude - 22° 47' 20" S). Thirty-two not castrated lambs (*Ovis aries*) with 3 months of age (soon after the weaning) and average initial weight of 18 ± 3.7 kg were used. Sixteen lambs were of the Santa Ines breed (8 males and 8 females) and 16 were of crossbred sheep 7/8 Dorper x Santa Ines (8 males and 8 females).

Sheep were allowed to adjust to the facilities and feeding system for 15 days and were tested for 65 days. They were housed in 2 indoor pens (males x females) bedded with sugar cane bagasse and were fed with grinded hay (*Cynodon* cv. Tifton 85), commercial concentrate, water and mineral salt, *ad libitum* (Table 1). Each pen contained 4 automated feed stations (INTERGADO®, Contagem, MG, Brazil), providing in two of them only hay and only concentrate in the other two. There was an electronic scale in each pen linked to the automatic waterers, where the animals were weighted every time they drank water.

Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.

Chemical composition	Commercial concentrate	Hay
Dry matter	88.9	93.0
Crude protein	19.8	13.4
Ether extract	1.9	1.4
Mineral matter ^a	13.5	6.9
Nitrogen-Free Extract	54.0	47.0
Acid detergent fiber	15.2	36.6
Neutral detergent fiber	37.6	74.3
Hemicellulose	22.4	37.7
Cellulose	.	31.3
Lignin	.	4.2
Total digestible nutrients (NDT)	67.8	62.6

^a Composition of product: calcium 120 g/kg, phosphorus 87 g/kg, sodium 147 g/kg; sulfur 18 g/kg, copper 590 mg/kg; cobalt 40 mg/kg, chromium 20 mg/kg, iron 1800 mg/kg, iodine 80 mg/kg, manganese 1300 mg/kg, selenium 15 mg/kg, zinc 3800 mg/kg; molybdenum 300 mg/kg; and fluorine (max.) 870 mg/kg. Dry matter, Ether extract, Mineral matter and Crude protein according to AOAC (2005); Neutral detergent fiber, Acid detergent fiber, Hemicellulose, Cellulose and Lignin according to Goering and Van Soest (1991); NDT according to Kears, 1982.

Each animal was fitted with an electronic identification device (EID) in his collar around the neck. Each time an animal inserted his head into the bunk, the INTERGADO® scanned his EID to record the amount of feed consumed in relation to its disappearance and feeding behavior events during 24 h a day. The automated feeder recorded the **daily consumption of concentrate (DCC) and hay (DCH)**, in kg. This data was transformed in daily **dry matter intake (DMI)**, which is all food without the water contained in it, where $DMI = (\text{roughage intake} \times \text{dry matter roughage content}) + (\text{concentrate intake} \times \text{dry matter concentrate intake})$ (GOMES et al., 2012). We also considered the **dry matter intake of concentrate (DMIC)** and the **dry matter intake of hay (DMIH)** separately.

Traditionally it has been used several productive performance traits (equations) and many of them consider the DMI by each animal to relate to the efficiency. The productive performance traits without DMI in the equations were: **average body weight (ABW)** = mean of body weight during the feeding period (GOMES et al., 2012); **mid-trial metabolic body weight (MMBW)** = [(initial body weight + final body

weight/2]^{0.75} (KOCH et al., 1963); **average daily gain (ADG)** = (final weight – initial weight)/days on feed; **relative growth rate (RGR)** = 100 x (log final weight - log initial weight)/days on test and **Kleiber ratio (KR)** = ADG/MMBW (ARTHUR; HERD, 2008).

The productive performance traits with DMI in the equations used in this study were: **residual feed intake (RFI)** = DMI observed – DMI expected (KOCH et al., 1963); **gain:feed ratio (G:F)** = ADG/DMI (Sharifabadi et al., 2016); **partial efficiency of maintenance (PEM)** = (DMI – ADG)/MMBW (Sharifabadi et al., 2016); **feed conversion ratio (FCR)** = DMI/ADG (ARTHUR; HERD, 2008); **dry matter intake/Body weight (DMI/BW)**; **dry matter intake of concentrate/Body weight (DMIC/BW)**; **dry matter intake of hay/Body weight (DMIC/BW)**.

Every 14 days were taken the body and testicular morphometric measurements. The linear body measurements were (in cm): **wither height (WH)**; **body length (BL)** and **thoracic perimeter (TP)** (BARTHOLAZZI JUNIOR et al., 2017). The testicular measurements were: **scrotal circumference (SC)**, in cm; **right testicular length (RTL)**, in mm and **right testicular diameter (RTD)**, in mm (TOE et al., 2000).

Morphometric indices were calculated by the relation between morphometric measures and/or body weight (COSTA et al., 2014): **body capacity (BCin)** = weight/thoracic perimeter; **body side indice (BSin)** = withers height/body length x 100; **compactness indice (Cin)** = weight/withers height x 100; **body proportionality indice (BPin)** = compactness indice/body indice x 100. Other indices used was **proportionality indice (Pin)** = body length/withers height x100 (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010) and **anamorphosis indice (Ain)** = thoracic perimeter²/withers height x 100 (REZENDE et al., 2014).

On the last day of the experiment ultrasound pictures were obtained at 12th to 13th intercostal space (last but one and last rib) using a Chison D600VET (China) coupled to a linear transducer of 7.5 MHz. The software ImageJ® was used to measure, in mm, the **height in *Longissimus dorsi* muscle (Hldm)**; **ribeye area in *Longissimus dorsi* muscle (RAldm)** and **subcutaneous fat thickness (SFT)** (MENEZES et al., 2013).

2.4. Statistical analyses

Residual feed intake was calculated using the MIXED procedure in SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC), as the difference between actual dry matter intake and expected dry matter intake. The base model used to calculate estimated dry matter intake (EFI) was determined by (KOCH et al., 1963). Other models were tested, including each trait measured to the base model. The model with higher R^2 (which increases the precision of the prediction) and lower Bayesian Information Criteria (BIC - a statistical measure for model selection with lower values being more desirable) was selected (MONTANHOLI et al., 2009b).

Correlation coefficients between DMI and all traits (productive performance traits, testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements) were calculated using the CORR procedure (Pearson method). Results were considered statistically significant when $p \leq 0.05$.

3 RESULTS

The descriptive statistics of all traits studied are presented in Table 1. The base model used to calculate estimated dry matter intake (EFI) showed $R^2=0.6486$ and $BIC=-10.9$. After the inclusion of the traits sex, genetic group, feed efficiency (FE) and daily dry matter intake of concentrate as a function of percentage of live weight (DMIC/BW) in the base model, it was observed a great increase in R^2 and decrease in BIC values ($R^2=0.9667$ and $BIC=-63.1$), increasing the precision of the prediction.

Table 1: Mean, standard deviation, minimum and maximum of productive performance traits, testicular parameters, carcass ultrasound (final trial), body morphometric and indices measures.

Variable	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Dry matter intake (kg/day)	1.34	0.44	0.28	4.58
Dry matter intake/Body weight (%bw/day)	4.55	1.21	1.43	18.00
Dry matter intake of concentrate (kg/day)	1.23	0.42	0.26	4.53
Dry matter intake of concentrate/Body weight (%bw/day)	3.93	1.42	0.002	14.99
Dry matter intake of hay (kg/day)	0.12	0.09	0	1.23
Dry matter intake of hay/Body weight (%bw/day)	0.37	0.29	0	4.23
Feed conversion ratio (kg/kg)	4.91	1.53	0.84	25.21
Gain:feed ratio (kg/kg/day)	0.23	0.09	0.04	1.19
Partial efficiency of maintenance	0.09	0.03	-0.005	0.40
Residual feed intake (kg)	-0.00009	0.05	-0.11	0.09
Average body weight (kg)	28.89	4.54	18.75	37.00
Mid-trial metabolic body weight (kg)	12.43	1.49	9.01	15.00
Average daily gain (kg/day)	0.24	0.05	0.14	0.35
Relative growth rate	0.38	0.08	0.20	0.54
Kleiber ratio	0.02	0.004	0.01	0.03
Right testicular length (mm)	66.01	20.94	20.50	124.2
Right testicular diameter (mm)	45.19	13.85	10.00	83.00
Scrotal circumference (cm)	22.65	4.44	10.00	30.00
Height in Longissimus dorsi muscle (cm)	2.56	0.38	1.73	3.61
Ribeye area in Longissimus dorsi muscle (cm)	10.18	2.36	6.36	16.63
Subcutaneous fat thickness (mm)	1.57	0.44	0.92	2.77
Wither height (cm)	59.12	3.88	47.00	71.00
Thoracic perimeter (cm)	74.86	7.19	54.00	90.00
Body length (cm)	66.20	6.46	45.00	79.00
Body capacity	0.36	0.06	0.22	0.51
Proportionality indice	112.01	8.86	81.82	135.09
Body side indice	89.85	7.25	74.03	122.22
Anamorphosis indice	95.60	16.80	59.07	139.66

Compactness indice	45.38	8.75	24.00	68.97
Body proportionality indice	51.51	10.73	25.87	77.60

The dry matter intake was compared with 29 other traits and there was no significant correlation only between DMI and subcutaneous fat thickness. From the 28 traits with significant correlation with DMI, 82.1% (23 traits) showed correlation higher than 0.31 (high correlation) (Figure 1).

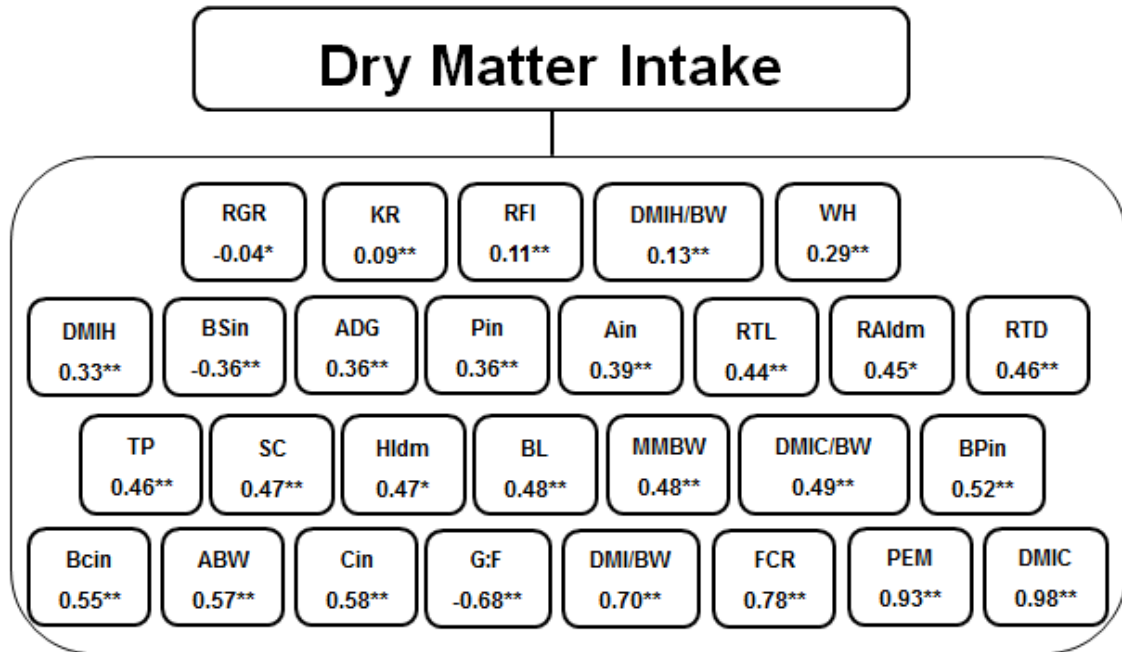
The grinded hay and the commercial concentrate were provided in separate feed stations and the increase in DMI (total DMI and DMI/BW) was more connected with the concentrate intake than with the hay intake (dry matter intake in relation to body weight of 3.93% for concentrate and 0.37% for hay).

Some productive performance traits consider the DMI in the equations and it was noted that the greater the DMI, the greater the partial efficiency of maintenance ($r=0.93$), feed conversion ratio ($r=0.78$) and residual feed intake ($r=0.11$), but the lower the gain:feed ratio ($r=-0.68$).

Considering the productive performance traits that do not take into account the DMI in the equations, we perceived that the increase in DMI was related to the increase in average body weight ($r=0.57$), mid-trial metabolic body weight ($r=0.48$) and average daily gain ($r=0.36$). In addition, the Kleiber ratio and relative growth rate showed significant correlation with DMI, but it was low ($r=0.09$ and -0.04 , respectively).

The testicular, carcass (except for subcutaneous fat thickness), body morphometric and indices measures were higher when the DMI was higher ($0.36 < r < 0.58$), except for the body side indice ($r=-0.36$).

Figure 1: Correlation between dry matter intake (DMI) and productive performance traits, testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements.



** p<0.001; *p<0.05.

ABW = average body weight; ADG = average daily gain; Ain = anamorphosis indice; Bcin = body capacity indice; BL = body length; BPin = body proportionality indice; BSin = body side indice; Cin = compactness indice; DMI = dry matter Intake; DMI/BW = dry matter intake/Body weight; DMIC = dry matter intake of concentrate; DMIC/BW = dry matter intake of concentrate/Body weight; DMIH = dry matter intake of hay; DMIH/BW = dry matter intake of hay/Body weight; FCR = feed conversion ratio; G:F = gain:feed ratio; Hldm = height in Longissimus dorsi muscle; KR = Kleiber ratio; MMBW = mid-trial metabolic body weight; PEM = partial efficiency of maintenance; Pin = proportionality indice; RAIdm = ribeye area in Longissimus dorsi muscle; RFI = residual feed intake; RGR = relative growth rate; RTD = right testicular diameter; RTL = right testicular length; SC = scrotal circumference; TP = thoracic perimeter; WH = wither height.

4 DISCUSSION

In order to measure the voluntary intake of grinded hay and commercial concentrate by animals, they were provided in separate feed stations. The DMI of concentrate (1.23 ± 0.42 kg/day) and DMI of concentrate in relation to the body weight (3.93 ± 1.42 %BW/day) were much greater than the DMI of hay (0.12 ± 0.09 kg/day) and DMI of hay in relation to the body weight (0.37 ± 0.29). Therefore, of the total DMI, 91.1% was concentrated and only 8.9% was hay. In addition, of the total DMI in relation

to the body weight, approximately 86.3% was concentrate and 8.1% was hay. The nutritional requirements for lambs just being weaned from mother's milk in rapid growth are high, especially in energy and, consequently, in concentrate (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003).

The total intake of dry matter increased with increasing concentrate level and the voluntary feed intake depends on age, physiological state, diet composition, type of cereal used in concentrate, digestibility, palatability (CRABTREE; WILLIAMS, 2010). The animals in this study showed greater DMI and DMI/BW than the nutrient requirements of sheep during growth provided by NRC (2007), which is approximately 0.91 and 3.91, respectively. The recommendations of nutritional requirements for sheep developed in other countries do not always correspond to the observed performance in Brazil, since the nutritional requirements are influenced by several factors, such as environmental conditions, nutritional level or breed (RESENDE et al., 2008).

The utilization of the feed consumed by an animal involves a complex of biological processes and interactions with the environment (ARTHUR; HERD, 2008). The DMI is related to many efficiency traits in sheep and these traits are measured using equations. Some efficiency traits use DMI in the equation, but others do not use it. The traits which do not use DMI are more practical and used frequently in commercial livestock, such as body weight in different ages and average daily gain. Selection programs based on these traits can increase the DMI (SUTHERLAND, 1965) and it agrees with our results, which the heavier (body weight and mid-trial metabolic body weight) animals and those who gained more weight per day ingested more DMI.

The increase of feed intake leads to increase in body weight (ARTHUR; HERD, 2008) and production costs (SNOWDER; VAN VLECK, 2003). The higher the body weight, the higher the maintenance cost due to the amount of energy expended to digest the feed increases (increase in size of the digestive organs and in energy expended within the tissues themselves) (HERD; ARTHUR, 2009). Hence, in environments with limiting feed resources, a heavier sheep may be undesirable (SNOWDER; VAN VLECK, 2003), especially in larger and later breeds (PAULA et al., 2013a).

From an economic viewpoint, this increase in DMI may or may not be a desirable situation, depending on the premium placed on rate of gain per se (Sutherland, 1965).

The direct selection against DMI was favored for low lamb prices with high feed costs, but because the ADG is perhaps the most practical and easiest trait to measure, breeders desiring to improve economic returns and feed efficiency should consider selecting for ADG (Snowder and Van Vleck, 2003). Animals with higher growth velocity and which reach maturity as early as possible are very interesting for producers of sheepmeat, because it reduces the reproductive age and improves the rate of return of the activity (TEIXEIRA NETO et al., 2016).

Higher values of Kleiber ratio and relative growth rate are related to higher efficiency. The relative growth rate better expresses the growth than the gain:feed rate, on the other hand, by not using the DMI, the Kleiber ratio may not detect differences in energy efficiency between individuals (GOMES et al., 2012). Although the low correlation, in our study the DMI was positively correlated with the Kleiber ratio and negatively correlated with relative growth rate.

Animals with lower feed conversion rate (DMI/ADG) shows better feed conversion, in other words, if the value is 4.91, the animal consumed 4.91 kg of dry matter to gain 1 kg in live weight (GOMES et al., 2012). The larger the gain:feed rate (ADG/DMI), the better the feed efficiency of the animal, it means, if the value was 0.23, the animal gained 230 g in live weight for each kg of dry matter intake (GOMES et al., 2012). Protein levels from 16 to 18% in the diet, as in our study, shows better weight gains, dry matter intake and feed conversion ratio (Carvalho et al., 2003).

The partial efficiency of maintenance is the amount of feed energy devoted to maintenance requirements and the animals with greater value need more feed for maintenance requirements and are less efficient (Sharifabadi et al., 2016). In our study we observed that the higher the DMI, the higher the feed conversion ratio, partial efficiency of maintenance values, but the lower the gain:feed ratio. It means that the increase in DMI reduces the feed conversion, the feed efficiency and the animals need more feed for maintenance.

The basic objection to the use of the gain:feed is that animals with identical deviation in gain are called identically efficient, regardless of the feed consumption required to produce such expected gain (SUTHERLAND, 1965). Koch et al. (1963) affirmed that this ratio is a biased estimate, since animals of different weights have different requirements for maintenance, in composition of gain, and differences in feed

consumption influence variations in measured efficiency, then he suggested the alternative use of residual feed intake for the first time.

RFI is the difference between the expected intake of the animal and what it actually consumes and it is an interesting measure because does not influence the adult size or growth of animals (SOBRINHO et al., 2011). Our results showed that, although the correlation was not great ($r=0.11$), the less efficient animals in residual feed intake (positive RFI) showed higher DMI. It means that their actual intakes are greater than the expected intake values, then the animals were considered less efficient (COCKRUM et al., 2013).

In our study the animals with higher DMI showed higher muscularity. The distribution of muscularity can be estimated by ultrasound measuring the height and ribeye area in *Longissimus dorsi* muscle and is directly correlated with the muscle/bone ratio in the most valuable cuts of the carcass (CEZAR; SOUSA, 2010).

The subcutaneous fat thickness measured by ultrasound is a good predictor of the fat present in the carcass, which must be reduced, but sufficient to protect the carcass for weight loss during the cooling, correct conservation and adequate sensorial quality (Cezar and Sousa, 2010; Queiroz et al., 2015). The absence of correlation between DMI and subcutaneous fat thickness in our study may be related to the age of the lambs (155 days at the end of the study). The animals were at a less advanced stage in the growth curve and fat deposition occurs after stabilization of muscle growth, then the proportion of fat in the body gain composition was probably not representative enough to detect significant results at this age (PAULA et al., 2013a).

In our study the higher the testicular measures, the higher the DMI ($0.44 < r < 0.47$) and body weight ($0.68 < r < 0.73$). The scrotal circumference, age at puberty and sexual behavior of young lambs may be influenced by the body weight (LIMA et al., 2010) and nutritional factors (scrotal circumference was higher in lambs that consumed a high-energy food than a high fiber food (MACEDO JUNIOR et al., 2014). Testicular development is greater in heavier animals than in the lighter ones (FRAGA et al., 2015). Male sexual maturity occurs at about six months of age, with a live weight of 40-60% of adult weight (HAFEZ; HAFEZ, 2004).

The body measurements are very simple and quickly executed, being wither height, body length and thoracic perimeter useful to identify superior individuals for carcass traits (CEZAR; SOUSA, 2010). The body weight itself is limited without some

qualification, and probably quantification of associated type and conformation (CHACÓN et al., 2011). Morphological indices are used to describe the size and proportion of an animal, which are the relationship among various linear body measurements or between these traits and body weight (KHARGHARIA et al., 2015).

The increase in thoracic perimeter is closely linked to the live weight, weight gain and yield of the carcass (LIMA et al., 2010). The genetic improvement of specialized meat breeds selects animals with a more compact conformation, that is, with smaller wither height and body length in relation to their body depth, thus seeking a greater percentage of the trunk in detriment of the corporal extremities, since the greater proportion of the carcass comes from the trunk and not from appendicular regions of the animal body (CARTAXO et al., 2017).

Body capacity indicates the ability of muscle accumulation in the carcass and allows to estimate or classify animals as to the potential of corporal development (ARAÚJO FILHO et al., 2007). Animals with higher value of proportionality indice shows more aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007). The increase in compactness indice shows more compact animals (the body weight increase and wither height decrease) (COSTA et al., 2014). The body proportionality indice refers to the animal's conformation, i.e. as much as the animals are compact or longilineals (COSTA et al., 2014). The anamorphosis indice, also called "Conformation Index" or "Baron & Crevat" shows that, the greater the index, the more robust the animal (CHACÓN et al., 2011). The body side indice indicates that animals with lower value are closer to a rectangle, a predominant form in animals with aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007).

Our results related to the body and indices measurements showed that the increase in DMI led to increase of live weight, weight gain, muscle accumulation in the carcass, aptitude to beef, compactness, aptitude to beef and stronger growth. Those results are very positive, since the increase in DMI may increase the yield of the carcass.

5 CONCLUSION

The DMI showed a significant connection with productive performance traits, body and morphometric indices, testicular measurements and carcass traits by ultrasound in sheep.

The selection for feed efficiency traits (especially for weight and average daily gain), body measures and morphometric indices, testicular and carcass traits should be made with caution, as they increase the dry matter intake. This increase in dry matter intake may increase the size and the need for nutrients destined to the maintenance of the animals.

REFERENCES

- ARAÚJO FILHO, J. T.; COSTA, R. G.; FRAGA, A. B.; SOUSA, W. H.; GONZAGA NETO, S.; BATISTA, A. S. M.; CUNHA, M. G. G. Efeito de dieta e genótipo sobre medidas morfométricas e não constituintes da carcaça de cordeiros deslanados terminados em confinamento. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 8, n. 4, p. 394–404, 2007.
- ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. Special supplement, p. 269–279, 2008.
- BARTHOLAZZI JUNIOR, A.; QUIRINO, C. R.; MATOS, L. F.; VEGA, W. H. O.; RUA, M. A. S.; CASTRO, T.; FREITAS, A. C. B.; RIBEIRO, M. S. Medidas lineares de equinos da raça Pônei Brasileiro. **Revista eletrônica de veterinária**, v. 18, n. 2, p. 1–12, 2017.
- BRAVO, S.; SEPÚLVEDA, N. Índices Zoométricos en Ovejas Criollas Araucanas. **International Journal of Morphology**, v. 28, n. 2, p. 489–495, 2010.
- CARTAXO, F. Q.; SOUSA, W. H.; CEZAR, M. F.; CUNHA, M. G. G.; MENEZES, L. M.; RAMOS, J. P. F.; GOMES, J. T.; VIANA, J. A. Desempenho e características de carcaça de cordeiros Santa Inês e suas cruzas com Dorper terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 18, n. 2, p. 388–401, 2017.
- CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, G. R.; ALVES, K. S. Nutrição e alimentação de ovinos em confinamento. In: FERREIRA, R. A.; VELOSO, C. M.; RECH, C. L. S. (Ed.). **Nutrição animal: tópicos avançados**. Itapetininga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2003. p. 176–213.

CASANOVA, P.; PERE-MIQUEL, L. S. D. Análisis biométrico y funcional de la raza ovina aranesa. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2007.

CEZAR, M. F.; SOUSA, W. H. Proposta de avaliação e classificação de carcaças de ovinos deslanados e caprinos. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 4, p. 41–51, 2010.

CHACÓN, E.; MACEDO, F.; VELÁZQUEZ, F.; PAIVA, S. R.; PINEDA, E.; MCMANUS, C. Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1671–1679, 2011.

COCKRUM, R. R.; STOBART, R. H.; LAKE, S. L.; CAMMACK, K. M. Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. **Small Ruminant Research**, v. 113, n. 2–3, p. 313–322, 2013.

COSTA, R. L. D.; QUIRINO, C. R.; AFONSO, V. A. C.; PACHECO, A.; BELTRAME, R. T.; MADELLA-OLIVEIRA, A. F.; COSTA, A. M.; SILVA, R. M. C. Morphometric indices in santa ines sheep. **International Journal of Morphology**, v. 32, n. 4, p. 1370–1376, 2014.

CRABTREE, J. R.; WILLIAMS, G. L. The voluntary intake and utilization of roughage – concentrate diets by sheep. 1. Concentrate supplements for hay and straw. **Animal Production**, v. 13, n. 1, p. 71–82, 2010.

DE PAULA, E. F. E.; SOUZA, D. F.; MONTEIRO, A. L. G.; SANTANA, M. H. A.; GILAVERTÉ, S.; ROSSI JUNIOR, P.; DITTRICH, R. L. Residual feed intake and hematological and metabolic blood profiles of Ile de France lambs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 11, p. 806–812, 2013.

FRAGA, A. L. C. de R.; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L. K.; SILVA JÚNIOR, L. de S.; CABRAL, L. da S.; SOUZA, J. R. de; BARROS, D. S.; ANGREVES, G. M. Puberty beginning in lambs from hairless ewe submitted to caloric or protein restriction. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 16, n. 3, p. 746–757, 2015.

GOMES, R. C.; SANTANA, M. H. A.; FERRAZ, J. B. S.; LEME, P. R.; SILVA, S. L. **Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte**. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2012.

HAFEZ, B.; HAFEZ, E. S. E. **Reprodução animal**. 7. ed. Barueri, SP: Manole, 2004.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, p. 64–71, 2009.

KHARGHARIA, G.; KADIRVEL, G.; KUMAR, S.; DOLEY, S.; BHARTI, P. K.; DAS, M. Principal component analysis of morphological traits of assam hill goat in esatern Himalayan India. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 25, n. 5, p. 1251–1258, 2015.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.

LANSADE, L.; BOUISSOU, M. F.; ERHARD, H. W. Fearfulness in horses: A

temperament trait stable across time and situations. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 109, p. 355–373, 2008.

LIMA, C. J. A.; SANTOS, A. D. F.; OLIVEIRA, V. S.; MOURA, C. N.; CARVALHO, C. T. G.; FRAGA JUNIOR, A. M. Perímetro escrotal, peso e medidas corporais em ovinos da raça Santa Inês e mestiços Santa Inês x Dorper criados no sertão sergipano. In: 47a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: 2010.

MACEDO JUNIOR, G. L.; ASSIS, R. M.; PEREZ, J. R. O.; PAULA, O. J.; FRANÇA, P. M.; ALMEIDA, T. R. V. Biometria testicular de cordeiros em diferentes idades e alimentados com níveis crescentes de fibra em detergente neutro oriunda da forragem. **Ciência animal brasileira**, v. 15, n. 4, p. 384–399, 2014.

MENEZES, A. M.; LOUVANDINI, H.; ESTEVES, G. I. F.; DALCIN, L.; CANOZZI, M. E. A.; BARCELLOS, J. O. J.; MCMANUS, C. Performance and carcass traits of Santa Ines lambs finished with different sources of forage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 6, p. 428–437, 2013.

MEYER, A. M.; VRASPIR, R. A.; ELLISON, M. J.; CAMMACK, K. M. The relationship of residual feed intake and visceral organ size in growing lambs fed a concentrate- or forage-based diet. **Livestock Science**, v. 176, p. 85–90, 2015.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; CALDWELL, T. R.; MILLER, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22–30, 2009.

NRC, N. R. C. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, and New World camelids**. 1st. ed. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2007.

PAULA, E. F. E.; MONTEIRO, A. L. G.; SOUZA, D. F.; PRADO, O. R.; NOMURA, T. M.; STIVARI, T. S. S.; SILVA, C. J. A.; SANTANA, M. H. A. Consumo alimentar residual e sua relação com medidas de desempenho e eficiência e características in vivo da carcaça de cordeiros. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 2, p. 566–572, 2013.

QUEIROZ, L. O.; SANTOS, G. R. A.; MACÊDO, F. A. F.; MORA, N. H. A. P.; TORRES, M. G.; SANTANA, T. E. Z.; MACÊDO, F. G. Características quantitativas da carcaça de cordeiros Santa Inês, abatidos com diferentes espessuras de gordura subcutânea. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 16, n. 3, p. 712–722, 2015.

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, n. SPECIAL ISSUE, p. 161–177, 2008.

REZENDE, M. P. G.; LUZ, D. F.; RAMIRES, G. G.; OLIVEIRA, M. V. M. Índices zootécnicos de novilhas da raça pantaneira. **Veterinária e Zootecnia**, v. 21, n. 4, p. 550–555, 2014.

SHARIFABADI, H. R.; NASERIAN, A. A.; VALIZADEH, R.; NASSIRY, M. R.; BOTTJE, W. G.; REDDEN, R. R. Growth performance , feed digestibility , body composition , and feeding behavior of high – and low – residual feed intake fat-tailed lambs under moderate feed restriction. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 8, p. 3382–3388, 2016a.

SHARIFABADI, R. H.; NASERIAN, A. A.; VALIZADEH, R.; NASSIRY, M. R.; BOTTJE, W. G.; REDDEN, R. R. Growth performance, feed digestibility, body composition, and feeding behavior of high– and low–residual feed intake fat-tailed lambs under moderate feed restriction. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 8, p. 3382–3388, 2016b.

SNOWDER, G. D.; VAN VLECK, L. D. Estimates of genetic parameters and selection strategies to improve the economic efficiency of postweaning growth in lambs. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 2704–2713, 2003.

SOBRINHO, T. L.; BRANCO, R. H.; FIGUEIREDO, S.; BONILHA, M.; CASTILHOS, M. De; FIGUEIREDO, L. A. De; RAZOOK, A. G.; EUGÊNIA, M.; MERCADANTE, Z. Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight 1 Consumo alimentar residual e relações com o desempenho de bovinos Nelore selecionados para peso pós-desmame. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 929–937, 2011.

SUTHERLAND, T. M. The correlation between feed efficiency and rate of gain, a ratio and its denominator. **Biometrics**, v. 21, n. 3, p. 739–749, 1965.

TAMIOSO, P. R.; RUCINQUE, D. S.; TACONELI, C. A.; DA SILVA, G. P.; MOLENTO, C. F. M. Behavior and body surface temperature as welfare indicators in selected sheep regularly brushed by a familiar observer. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 19, p. 27–34, 2017.

TEIXEIRA NETO, M. R.; CRUZ, J. F. Da; FARIA, H. H. N.; SOUZA, E. S.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M. Descrição do crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos não-lineares selecionados por análise multivariada. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 17, n. 1, p. 26–36, 2016.

TOE, F.; REGE, J. E. O.; MUKASA-MUGERWA, E.; TEMBELY, S.; ANINDO, D.; BAKER, R. L.; LAHLOU-KASSI, A. Reproductive characteristics of Ethiopian highland sheep I. Genetic parameters of testicular measurements in ram lambs and relationship with age at puberty in ewe lambs. **Small Ruminant Research**, v. 36, p. 227–240, 2000.

YEAMAN, J. C.; WALDRON, D. F.; WILLINGHAM, T. D. Growth and feed conversion efficiency of Dorper and Rambouillet lambs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 10, p. 4628–4632, 2013.

RELATIONSHIP BETWEEN RESIDUAL FEED INTAKE, PERFORMANCE, MORPHOMETRIC INDICES, CARCASS TRAITS AND FEEDING BEHAVIOR IN SHEEP

Abstract: The aim of this research was to study the effects of genetic group and sex on residual feed intake (RFI), performance, behaviour, testicular measurements, carcass traits by ultrasound and morphometric indices in Santa Ines purebred (Pu) and Dorper x Santa Ines crossbreed (Cr) sheep, males and females, in Brazil. A total of 32 lambs, with 3 months of age and initial weight of 18 ± 3.7 kg were used. Daily were recorded the amount of feed consumed, feeding behavior events and weight by the automated feeder and electronic scale. The residual feed intake was measured using those information. Every 14 days were taken the body and testicular (males) morphometric measurements. Morphometric indices were calculated by the relation between body morphometric measures and/or body weight. The carcass traits were measured by ultrasound on the last day of the experiment. Analysis of variance, considering the interaction between sex and genetic group, and correlation of all the traits was performed ($p \leq 0.05$). The interaction between sex and genetic group have influenced ($p < 0.05$) residual feed intake, performance, behaviour, testicular measurements, carcass traits, body measurements and morphometric indices. Crossbreed females and purebred males were more efficient in RFI (negative RFI) than crossbred males and purebred females. Correlations between RFI and all measures, when occurred, was low and moderate. In general, males and crossbreed Dorper x Santa Ines sheep showed best growth performance were more compact, showed greater aptitude to beef and ability of muscle accumulation than females and purebred Santa Ines and could be perceived as an alternative of improvement of the profitability of sheep rearing.

Keywords: Ovis aries, dorper, santa ines, efficiency, lamb

1 INTRODUCTION

At the heart of livestock-based food production is the ability of animals to receive complex plant constituents and convert them into protein and carbohydrate forms that are palatable and readily digested by the human gastrointestinal tract. The role of producers is to design, maintain, and monitor systems that maximize the efficiency of this process of nutrient intake, uptake, and conversion so that economic input costs and output returns are optimized.

As the highest cost in an animal production is related to food (ARTHUR; HERD, 2008), the selection of sheep for characteristics related to feed efficiency has been shown to be a good alternative to reduce food costs, increase productivity (COCKRUM et al., 2013) and to environmental benefits (Paula *et al.*, 2013). Residual feed intake (RFI) is the difference between the expected intake of the animal and what it actually consumes, based on its metabolic weight and average daily gain (SOBRINHO et al., 2011). It was first used by (Koch *et al.*, 1963), who realized that animals with different weights have different requirements for maintenance and has been widely used in animal production because no alterations are observed upon the adult size or growth of animals selected for RFI (SOBRINHO et al., 2011). For RFI to be an appropriate measure of feed efficiency in the sheep industry it must not be unfavorably correlated with growth, reproduction and carcass traits, so it is necessary to fully investigate the potential impacts associated with them (COCKRUM et al., 2013).

The Dorper sheep is primarily a mutton sheep and has spread to many countries throughout the world because it shows exceptional adaptability, hardiness, reproduction rates and growth (reaching 36 kg or ~80 lbs at three and a half to four months) as well as good mothering abilities (PLOOY, 1999). In Brazil, Dorper is the most suitable breed for crossbreeding with the Brazilian naturalized hair sheep breed Santa Ines, since females express estrus all over the year, good maternal ability, potential for meat production, reproduction, adaptation, growth and also produce high quality skin (Carvalho et al., 2003; Yamamoto et al., 2005).

Breeds of sheep differ markedly in adaptability to different environments and in performance for traits that influence efficiency of production and product quality (LEYMASTER, 2002). Crossbreeding systems use breed diversity to increase productivity relative to purebred flocks (LEYMASTER, 2002). With that in mind, the objective of this research was to study the effects of genetic group and sex on residual

feed intake (RFI), performance, behaviour, testicular measurements, carcass traits by ultrasound and morphometric indices in Santa Ines purebred (Pu) and Dorper x Santa Ines crossbred (Cr) sheep, males and females, in Brazil.

2 MATERIALS AND METHODS

This study was approved by the ethics committee on animal use of the Instituto de Zootecnia (CEUA-IZ), finding number 224-16.

The experiment was conducted at Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, São Paulo state, Brazil (latitude - 47° 19' 51" W e a longitude - 22° 47' 20" S). Thirty-two not castrated lambs (*Ovis aries*) with 3 months of age (soon after the weaning) and average initial weight of 18 ± 3.7 kg were used. Sixteen lambs were of the Santa Ines breed (8 males and 8 females) and 16 were of crossbred sheep 7/8 Dorper x Santa Ines (8 males and 8 females).

Sheep were allowed to adjust to the facilities and feeding system for 15 days and were tested for 65 days. They were housed in 2 indoor pens (males x females) bedded with sugar cane bagasse and were fed with grinded hay (*Cynodon* cv. Tifton 85), commercial concentrate, water and mineral salt, *ad libitum* (Table 1). Each pen contained 4 automated feed stations (INTERGADO®, Contagem, MG, Brazil), providing in two of them only hay and only concentrate in the other two. The DMI of concentrate in relation to BW was $3.9 \pm 1.4\%$ and the DMI of hay in relation to BW was $0.37 \pm 0.29\%$. There was an electronic scale in each pen linked to the automatic waterers, where the animals were weighted every time they drank water.

Table 1: Chemical composition of the hay and concentrate in % of dry matter.

Chemical composition	Commercial concentrate	Hay
Dry matter	88.9	93.0
Crude protein	19.8	13.4
Ether extract	1.9	1.4
Mineral matter ^a	13.5	6.9
Nitrogen-Free Extract	54.0	47.0
Acid detergent fiber	15.2	36.6
Neutral detergent fiber	37.6	74.3
Hemicellulose	22.4	37.7
Cellulose	.	31.3
Lignin	.	4.2
Total digestible nutrients (NDT)	67.8	62.6

^a Composition of product: calcium 120 g/kg, phosphorus 87 g/kg, sodium 147 g/kg; sulfur 18 g/kg, copper 590 mg/kg; cobalt 40 mg/kg, chromium 20 mg/kg, iron 1800 mg/kg, iodine 80 mg/kg, manganese 1300 mg/kg, selenium 15 mg/kg, zinc 3800 mg/kg; molybdenum 300 mg/kg; and fluorine (max.) 870 mg/kg. Dry matter, Ether extract, Mineral matter and Crude protein according to AOAC (2005); Neutral detergent fiber, Acid detergent fiber, Hemicellulose, Cellulose and Lignin according to Goering and Van Soest (1991); NDT according to Kears, 1982.

Each animal was fitted with an electronic identification device (EID) in his collar around the neck. Each time an animal inserted his head into the bunk, the INTERGADO® scanned his EID to record the amount of feed consumed in relation to its disappearance and feeding behavior events during 24 h a day. The automated feeder recorded daily: **daily consumption of concentrate (DCC) and hay (DCH)**, in kg; **time spent at concentrate (TSCF) and hay (TSHF) feeder**, in min; **total time consuming concentrate (TTCC) and hay (TTCH)**, in min; **daily visits to the concentrate (DVCF) and hay (DVHF) feeder**, in number of events.

Daily equipment records and body weight make it possible to calculate the following productive performance traits: **dry matter intake (DMI)** = (concentrate consumption x dry matter content of concentrate) + (hay consumption x dry matter content of hay) (GOMES et al., 2012); **residual feed intake (RFI)** = DMI observed – DMI expected (Koch et al., 1963); **average body weight (ABW)** = mean of body weight during the feeding period (GOMES et al., 2012); **mid-trial metabolic body weight**

(MMBW) = [(initial body weight + final body weight)/2]^{0.75} (Koch et al., 1963); **average daily gain (ADG)** = (final weight – initial weight)/days on feed (YEAMAN; WALDRON; WILLINGHAM, 2013); **feed efficiency (FE)** = ADG/DMI (GOMES et al., 2012); **feed conversion ratio (FCR)** = DMI/ADG (ARTHUR; HERD, 2008); **total dry matter intake(concentrate+hay)/Body weight (DMI/BW)**; **dry matter intake of concentrate/Body weight (DMIC/BW)**.

Every 14 days were taken the body and testicular morphometric measurements. The linear body measurements were (in cm): **withers height (WH)**; **rump height (RH)**; **body length (BL)** and **thoracic perimeter (TP)** (BARTHOLAZZI JUNIOR et al., 2017). The testicular measurements were: **scrotal circumference (SC)**, in cm; **right testicular length (RTL)**, in mm and **right testicular diameter (RTD)**, in mm (TOE et al., 2000).

Morphometric indices were calculated by the relation between morphometric measures and/or body weight (COSTA et al., 2014): **body capacity 1 (BCin1)** = weight/body length; **body capacity 2 (BCin2)** = weight/thoracic perimeter; **body indice (Bin)** = body length/thoracic perimeter x 100; **body side indice (BSin)** = withers height/body length x 100; **compactness indice (Cin)** = weight/withers height x 100; **body proportionality indice (BPin)** = compactness indice/body indice x 100. Other indices used was **proportionality indice (Pin)** = body length/withers height x100 (BRAVO; SEPÚLVEDA, 2010) and **anamorphosis indice (Ain)** = thoracic perimeter²/withers height x 100 (REZENDE et al., 2014).

On the last day of the experiment ultrasound pictures were obtained at 12th to 13th intercostal space (last but one and last rib) using a Chison D600VET (China) coupled to a linear transducer of 7.5 MHz. The software ImageJ® was used to measure, in mm, the **height in *Longissimus dorsi* muscle (Hldm)**; **length in *Longissimus dorsi* muscle (Lldm)**; **ribeye area in *Longissimus dorsi* muscle (RAldm)** and **subcutaneous fat thickness (SFT)** (MENEZES et al., 2013).

2.4. Statistical analyses

The appropriate model to estimate dry matter intake for RFI calculations was tested using the MIXED procedure in SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The base model used to calculate estimated dry matter intake was determined by Koch et al. (1963),

but a great increase in R^2 values (which increases the precision of the prediction) and decrease in BIC (bayesian information criteria) was observed (MONTANHOLI et al., 2009b) by the incorporation of sex, genetic group, feed efficiency (FE) and daily dry matter intake of concentrate as a function of percentage of live weight (DMIC%BW) in the base model (Table 2). Residual feed intake was also calculated using the MIXED procedure as the difference between actual dry matter intake and expected dry matter intake.

Table 2: Predictive equation models used to estimate feed intake for the calculation of residual feed intake and respective fit as indicated by coefficient of determination (R^2) and Bayesian information criteria (BIC).

Model	Equation	R^2	BIC
Model 1	$y(\text{EDMI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \varepsilon$	0.6486	-10.9
Model 2	$y(\text{EDMI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \varepsilon$	0.6626	-5.9
Model 3	$y(\text{EDMI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \beta_5(\text{DMIC}\% \text{BW}) + \varepsilon$	0.9331	-44.4
Model 4	$y(\text{EDMI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \beta_6(\text{FE}) + \varepsilon$	0.8733	-33.9
Model 5	$y(\text{EDMI}) = \beta_0 + \beta_1(\text{ADG}) + \beta_2(\text{MMWT}) + \beta_3(\text{SEX}) + \beta_4(\text{GG}) + \beta_5(\text{DMIC}\% \text{BW}) + \beta_6(\text{FE}) + \varepsilon$	0.9667	-63.1

*Model described by (KOCH et al., 1963).

EDMI = expected dry matter intake. ADG = average daily gain. MMBW = mid-trial metabolic body weight - $[(\text{BW}_{\text{initial}} + \text{BW}_{\text{final}})/2]^{0.75}$. GG = genetic group. FE = feed efficiency. DMIC%BW = dry matter intake of concentrate as a function of percentage of body weight. ε = residuals (represents the RFI). DMI = dry matter intake. R^2 = coefficient of determination (bigger is better). BIC = bayesian information criteria (smaller is better).

y = expected dry matter intake. β_0 = regression intercept. $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ is the coefficient of the multiple linear regression of DMI on ADG, MMWT, sex (male or female), genetic group (santa ines or dorper x santa ines), DMIC%BW and FE, respectively.

Analysis of variance of food efficiency (including RFI), behaviour, carcass, body and testicular morphometric measurements was performed using PROC GLM. Means of all the traits measured were tested using SNK multi comparison test and the model used was:

$$Y_{ijl} = \mu + S_i + GG_j + (S*GG)_{ij} + e_{ijkl}$$

Where: Y_{ijkl} = dependent variable; μ = general mean, associated with the dependent variable; S_i = effect of sex i ; GG_j = effect of genetic group j ; $(S \times GG)_{ij}$ = effect of the interaction of sex and genetic group ij ; e_{ijkl} = random residual associated with each observation $e \sim N(0, I\sigma_e^2)$.

Correlation coefficients between RFI and all traits were calculated by CORR procedure (Pearson method). Average daily gain, MMWT, FE and DMIC/BW, which were included in the calculation of RFI, were independent ($p \geq 0.05$) of RFI.

Results were considered statistically significant when $p \leq 0.05$.

3 RESULTS

The original model to define RFI (RFI_{kock}) had the lowest R^2 (0.6486) and the second highest BIC (-10.9). The inclusion of sex, genetic group, feed conversion efficiency and dry matter intake of concentrate as a function of percentage of body weight increased the R^2 (0.9667) and decreased BIC (-63.1), so this model was used to define RFI in this study.

In this study we compared the means and standard deviation (Tables 3 and 4) between the genetic groups and sex (males purebred, females purebred, males crossbred and females crossbred). The double interactions assessed were: females crossbred x males crossbred, females crossbred x females purebred, females crossbred x males purebred, males purebred x females purebred, males purebred x males crossbred and females purebred x males crossbred. **Females crossbred** were more efficient in RFI (low RFI) than **males crossbred** and **females purebred** (-0.01856 ± 0.06 , $p < .001$; 0.01804 ± 0.04 , $p < .001$ and 0.01814 ± 0.04 , $p < .001$ respectively). **Males purebred** were more efficient (low RFI) than **females purebred** and **males crossbred** (-0.01797 ± 0.05 , $p < .001$; 0.01814 ± 0.04 , $p < .001$ and 0.01804 ± 0.04 , $p < .001$, respectively). In view of this, we showed the results focusing in crossbred females and purebred males and their relationship with the other genetic group or sex (Figures 1 and 2).

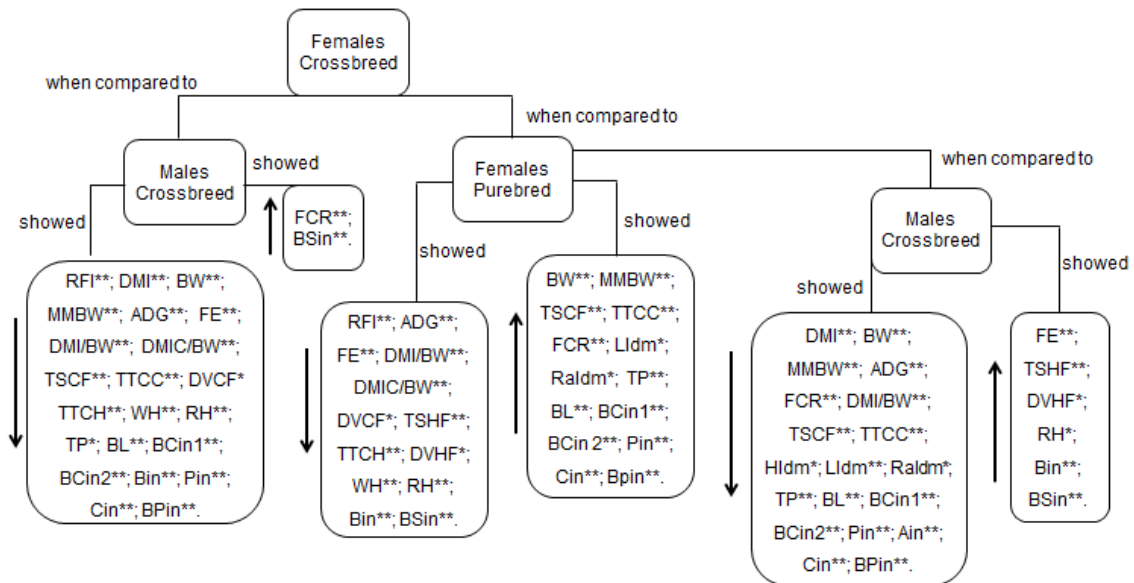
Table 3: Mean and standard deviation of genetic group and sex for efficiency traits and feeding behavior.

Trait	Male	Female	Male	Female
	Purebred	purebred	crossbreed	Crossbreed
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Residual feed intake (kg)	-0.01797±0.05	0.01814±0.04	0.01804±0.04	-0.01856±0.06
Dry matter intake (kg/day)	1.3±0.3	1.2±0.4	1.7±0.5	1.2±0.4
Body weight (kg)	29.6±2.3	24.0±3.2	33.5±2.3	28.5±3.8
Metabolic body weight (kg)	12.7±0.8	10.8±1.1	13.9±0.7	12.3±1.3
Average daily gain (kg/day)	0.27±0.04	0.22±0.02	0.29±0.04	0.19±0.04
Feed efficiency (kg/kg/day)	0.26±0.1	0.23±0.09	0.21±0.07	0.19±0.06
Feed conversion ratio (kg/kg)	4.1±1.1	4.8±1.5	5.1±1.3	5.6±1.6
Dry matter intake/body weight (%bw/day)	4.3±1.0	4.7±1.4	5.0±1.0	4.2±1.2
Dry matter intake of concentrate/body weight (%bw/day)	3.8±1.3	4.1±1.5	4.2±1.4	3.6±1.4
Time spent at concentrate feeder (min)	111.2±40.3	105.5±40.8	128.2±55.4	113.6±37.2
Total time consuming concentrate (min)	97.4±38	81.1±36	111.4±49.6	91.9±32.5
Daily visits to the concentrate feeder (n°)	117.1±60.2	131.8±46.3	136.2±68.5	122.78±68.4
Time spent at hay feeder (min)	49.4±26.9	42.6±20.3	33.1±16.9	32.4±17.0
Total time consuming hay (min)	16.7±15.7	13.2±10.5	14.5±13.2	10.4±10.0
Daily visits to the hay feeder (n°)	87.6±49.7	84.2±43.1	76.8±38.9	78.1±44

Table 4: Mean and standard deviation of genetic group and sex for testicular parameters, carcass ultrasound, body morphometric and indices measurements.

Trait	Male	Female	Male	Female
	Purebred	purebred	crossbreed	Crossbreed
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Right testicle length (mm)	60.8±19.8	.	71.2±20.8	.
Right testicular diameter (mm)	40.4±12.3	.	50.0±13.6	.
Scrotal circumference (cm)	21.4±4.6	.	23.9±3.9	.
Height in Longissimus dorsi muscle (cm)	2.4±0.2	2.4±0.2	2.9±0.3	2.5±0.5
Length in Longissimus dorsi muscle (cm)	4.6±0.5	4.6±0.5	5.5±0.2	5.3±0.5
Ribeye area in longissimus dorsi muscle (cm)	8.5±0.9	8.8±1.3	12.2±2.0	11.2±2.7
Subcutaneous fat thickness (mm)	1.6±0.8	1.7±0.5	1.3±0.3	1.6±0.2
Wither height (cm)	62.1±4.1	58.5±3.2	58.6±2.8	57.4±3.6
Rump height (cm)	63.2±3.7	60.3±3.6	59.8±3.4	58.2±2.9
Thoracic perimeter (cm)	72.6±5.6	70.1±6.9	78.8±4.4	78.0±7.4
Body length (cm)	66.9±5.7	62.7±6.2	69.3±6.6	65.9±5.5
Body capacity indice 1	0.40±0.05	0.36±0.06	0.44±0.06	0.40±0.06
Body capacity indice 2	0.37±0.05	0.32±0.05	0.38±0.06	0.34±0.04
Body indice	92.1±4.3	89.7±6.4	87.8±5.9	84.8±4.9
Proportionality indice	107.8±6.5	107.2±7.9	118.1±8.8	114.9± 6.7
Body side indice	93.1±5.7	93.8±7.5	85.1±6.4	87.3±4.9
Anamorphosis indice	85.2±10.2	84.5±14.3	106.3±9.8	106.5±16.2
Compactness indice	43.5±6.4	39.0±7.6	52±8.0	47.1±7.4
Body proportionality indice	47.2±7.1	43.8±9.6	59.2±8.1	55.8±9.9

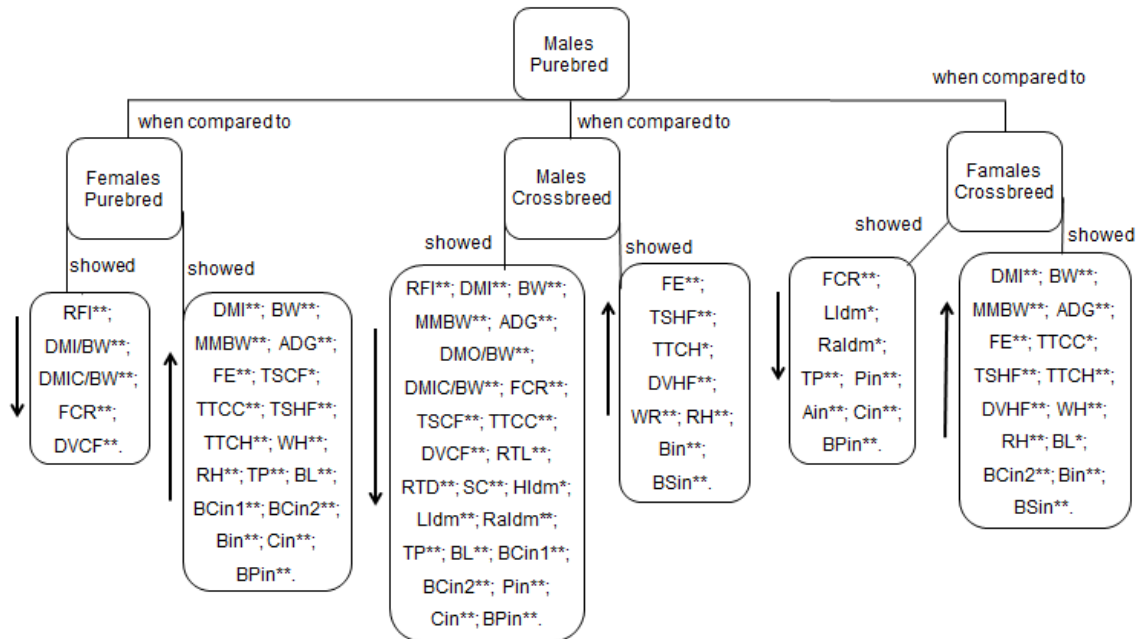
Figure 1: Comparison between means of crossbreed females x crossbreed males and crossbreed females x purebred females.



** p<0.001; *p<0.05.

DMI = dry matter intake; BW = body weight; MMBW = metabolic body weight; ADG = average daily gain; FE = feed efficiency; FCR = feed conversion ratio; DMI/BW = dry matter intake/body weight; DMIC/BW = dry matter intake of concentrate/body weight. TSCF = time spent at concentrate feeder; TTCC = total time consuming concentrate; DVCF = daily visits to the concentrate feeder; TSHF = time spent at hay feeder; TTCH = total time consuming hay; DVHF = daily visits to the hay feeder; RTL = right testicle length; RTD = right testicular diameter; SC = scrotal circumference; Hldm = height in Longissimus dorsi muscle; Lldm = length in Longissimus dorsi muscle; Raldm = ribeye area in longissimus dorsi muscle; SFT = subcutaneous fat thickness. WH = wither height; RH = rump height; TP = thoracic perimeter; BL = body length; BCin1 = body capacity indice 1; BCin2 = body capacity indice 2; Bin = body indice; Pin = proportionality indice; BSin = body side indice; Ain = anamorphosis indice; Cin = compactness indice; BPin = body proportionality indice.

Figure 2: Comparison between means of purebred males x purebred females and purebred males x crossbred males.



** p<0.001; *p<0.05.

DMI = dry matter intake; BW = body weight; MMBW = metabolic body weight; ADG = average daily gain; FE = feed efficiency; FCR = feed conversion ratio; DMI/BW = dry matter intake/body weight; DMIC/BW = dry matter intake of concentrate/body weight. TSCF = time spent at concentrate feeder; TTCC = total time consuming concentrate; DVCF = daily visits to the concentrate feeder; TSHF = time spent at hay feeder; TTCH = total time consuming hay; DVHF = daily visits to the hay feeder; RTL = right testicle length; RTD = right testicular diameter; SC = scrotal circumference; Hldm = height in Longissimus dorsi muscle; Lidm = length in Longissimus dorsi muscle; Raldm = ribeye area in longissimus dorsi muscle; SFT = subcutaneous fat thickness. WH = wither height; RH = rump height; TP = thoracic perimeter; BL = body length; BCin1 = body capacity indice 1; BCin2 = body capacity indice 2; Bin = body indice; Pin = proportionality indice; BSin = body side indice; Ain = anamorphosis indice; Cin = compactness indice; BPin = body proportionality indice.

There was a moderate correlation between RFI and dry matter intake ($r=0.11$; $p<0.001$), daily consumption of hay ($r=0.21$; $p<0.001$), daily visits to the concentrate and hay feeder ($r=0.27$ and 0.26 ; $p<0.001$, respectively), right testicle length (0.12 ; $p<0.001$), right testicular diameter (0.22 ; $p<0.001$) and scrotal circumference (0.22 ; $p<0.001$). There was low correlation between RFI and daily consumption of concentrate ($r=0.07$; $p<0.001$), time spent at concentrate feeder ($r=0.04$; $p=0.0437$), dry matter intake/body weight ($r=0.09$; $p<0.001$), wither height ($r=0.04$; $p=0.0435$), proportionality indice ($r=-0.05$; $p=0.0298$) and body side indice ($r=0.05$; $p=0.0134$).

4 DISCUSSION

Crossbreed females and purebred males were more efficient in RFI (negative RFI) than crossbred males and purebred females, since when actual intakes are lower than the expected intake values (negative RFI), the animal is considered more efficient (COCKRUM et al., 2013). However, this variation in RFI may not be accompanied by negative changes in productive traits (SOBRINHO et al., 2011).

The most efficient animal ate a DMI average of 1.179 kg/day, while the least efficient animal ate an average of 1.899 kg/day. It means that the most efficient animal consumed an average of 0.720 kg/day less food than the least efficient (37.9% difference). If we consider lamb finished in confinement before slaughter for about 90 days, eating large amount of concentrate, the most efficient animal could eat 64.8 kg/90days less food than the least efficient. If we are finishing a total of 100 animals in the same conditions, the difference in feed intake could be 6480 kg/100animals/90days. As feed is a major cost of sheep production, and improved conversion of feed into product is one approach to increasing the profitability of an enterprise (CAMMACK et al., 2005), this decrease in food expenses is quite significant.

Traditionally, breeders desiring to improve economic returns and feed efficiency selected for ADG because it is perhaps the most practical and easiest trait to measure (SNOWDER; VAN VLECK, 2003). However, this can lead to both increase in mature weight (SNOWDER; VAN VLECK, 2003), feed consumption and feed efficiency (KOCH et al., 1963). The feed efficiency is not a precise estimate of energy conversion

rate due to the variation in the composition of gains (fat, lean, or bone) and in maintenance requirements (KOCH et al., 1963). An increase in mature size may also increase production costs due to the increase feed need to maintain the sheep and a larger sheep may be undesirable in environments with limiting feed resources (SNOWDER; VAN VLECK, 2003). With this in mind, Koch et al. (1963) suggested, for the first time, that the selection should be made by the RFI, because it would increase feed efficiency and average daily gain, but feed consumption would not be affected.

Some nutrient requirements values predicted by NRC (2006) for growing/finishing sheep with 4 months old were different from those observed in our sample. In this phase of rapid growth the nutritional exigencies are high, especially in energy (CARVALHO; MEDEIROS; ALVES, 2003). The predicted values for females in NRC (2006) for BW, DMI, DMI/BW and ADG was 20 kg, 0.59 kg/day, 2.97 %BW and 0.200 kg/day, respectively. Comparing the values in NRC (2006) with the means for these variables during this study, we have seen that females crossbreed and purebred had higher BW (28.5 and 24 kg), DMI (1.21 and 1.17 kg/day) and DMI/BW (4.2 and 4.7 %BW) but the ADG was similar (0.190 and 0.220 kg/day).

Ram lambs differ from ewe lambs because of a greater energy requirement for maintenance (NRC, 2006). The predicted values for males in NRC (2006) for DMI, DMI/BW, BW and ADG, was 0.91 kg/day, 3.02 %BW, 30 kg and 0.300 kg/day, respectively. Males crossbreed and purebred in our experiment showed higher means for DMI (1.68 and 1.3 kg/day) and DMI/BW (5.0 and 4.3 %BW), but the BW (33.5 and kg) and ADG (0.290 and 0.270 kg/day) were similar when compared to the values in NRC (2006).

Cartaxo et al. (2017) worked in similar conditions and with the same genetic groups to our study. Our results were similar numerically, but unlike what was seen in their experiment, we observed differences between the genetic groups in BW and ADG and this may be related to the absorbent crossing of the Santa Ines breed by Dorper, increasing ADG in relation to purebred Santa Ines.

The correlations observed in our study between RFI x DMI and RFI x DMI/BW mean that animals less efficient (positive RFI) probably ate more food/day and ate more food in relation to body weight (%BW). Selection to decrease residual feed would be expected to result in a negative effect on traits related to growth rate and weight,

but the lower maintenance requirement for metabolizable energy would be of economic importance (SNOWDER; VAN VLECK, 2003).

RFI was positively correlated to five of the eight feeding behavior traits measured. It means that less efficient animals (positive RFI) probably ate more food, visited more the feeders and spent more time consuming concentrate. Feeding behavior characteristics are potentially associated with the energetic costs of feeding, which influence the animals' variation in feed efficiency and productive performance (MONTANHOLI et al., 2010).

Crossbreed showed bigger testicle size than purebred and animals with positive RFI (less efficient) probably had bigger testicle size. Scrotal circumference and testicular diameter are a good indicator of rams breeding ability (BENOÎT et al., 2017b) and has a direct relationship with sperm production (ELMAZ et al., 2008). The differences in SC in lambs could be due to the effect of genotype or breed (BENOÎT et al., 2017a), nutrition, subcutaneous fat tissue accumulate (LISBOA-NETO et al., 2017) and increase of BW (leads to increasing in SC and improves the reproductive capacity and sperm production) (ASSIS et al., 2008). In our study crossbreed were heavier than purebred, but the animals ate the same diet, thus, there was no influence of nutritional factors in testicular measurements.

There was no correlation between RFI and carcass traits, but the carcass traits (length, ribeye area and height in *Longissimus dorsi* muscle) were higher in crossbreed than in purebred, with the exception of subcutaneous fat thickness, that was similar. Any reduction in feed intake or increase in feed efficiency without compromising growth rate or carcass quality can have a significant positive economic impact on lamb production (SNOWDER; VAN VLECK, 2003). Dorper breed is considered precocious, with high weight gain, high quality of carcass, good conformation and fat distribution (LISBOA-NETO et al., 2017). The crossbreed lambs with Dorper and Santa Ines breeds can present greater quantities of muscular tissue (mainly in rump, which is located one of the main cuts of the sheep carcass) better distribution of muscularity (emphasized by ribeye area) and adiposity and, therefore, meat with better sensorial quality (CARTAXO et al., 2017).

The similarity observed deposition of subcutaneous fat between genetic groups in this study can be a result of the same high quality nutrition and age (GARCIA et al., 2010). The animals may not have arrived to the physiological maturation of the carcass

(after the maturation the adipose tissue starts to be deposited in a larger proportion than other tissues) and was not in the optimal point of slaughter (ANDRADE et al., 2017). The stage of maturity affects the maintenance energy requirement and the energy concentration in tissue being gained (being 30 and 60% for 4-months-old and 40 and 80% for 8-month-old lambs) (NRC, 2006).

The correlation between RFI and wither height showed that less efficient animals (positive RFI) probably had higher wither height. There was a tendency to males were higher than females in the body morphometric measurements and purebred were higher, but with lower body length and thoracic perimeter. The sex-related differences might be partly a function of the between-sex differential hormonal effects on growth (JIMMY et al., 2010). Santa Ines animals presents proportionally higher limbs to facilitate the search of food, since they come from a semi-arid region with great food shortages (CARTAXO et al., 2017). The crossbreed were 7/8 Dorper x 1/8 Santa Ines and Dorper is a specialized breed for cutting and inherited shorter limbs due to the more compacted body conformation resulting from genetic improvement, seeking a higher depth of body in detriment of the corporal extremities, since the greater proportion of the carcass comes from the depth (CARTAXO et al., 2017).

The body indice (Bin) classify the animals in longilinous ($\text{Bin} \geq 90$), medioline ($86 \leq \text{Bin} < 88$) and breviolines or compact ($\text{Bin} < 86$) (MCMANUS et al., 2008). In our study crossbreed females were breviolines (82.8), crossbreed males were medioline (87.8) and purebred were longliolines (89.7 for females and 92.1 for males). This difference on the conformation could be due to introducing a breed with greater aptitude for cutting (Dorper). The longliolines animals (known as "waders") would be those high and long and "compacts" those low and short, which is the predominant and desirable conformation for animals with aptitude to beef breed (COSTA et al., 2014).

Body capacity (BCin1 and 2) indicates the ability of muscle accumulation in the carcass and its measurement is important because it allows to estimate or classify animals as to the potential of corporal development (ARAÚJO FILHO et al., 2007). In our study males and crossbreed (males and females) have greater ability of muscle accumulation than females and purebred, respectively.

The body side indice ($\text{BSin} = \text{withers height/body length} \times 100$) indicates that animals with lower value are closer to a rectangle, a predominant form in animals with

aptitude to beef (CASANOVA; PERE-MIQUEL, 2007). As the proportionality indice (Pin) uses the same variables of BSin, but in reverse order ($Pin = \text{body length}/\text{withers height} \times 100$), animals with higher value shows more aptitude to beef. In this study, crossbreed showed greater aptitude to beef than purebred and crossbreed males showed greater aptitude than crossbreed females. More efficient animals (negative RFI) tended to show higher body side indice and lower proportionality indice, so they showed more aptitude to beef.

According to the compactness indice (Cin), when the weight increase and wither height decrease, there is an increase of the Cin and animals become more compact (COSTA et al., 2014). The body proportionality indice (BPin) refers to the animal's conformation, i.e. as much as the animals are compact or longilineals (COSTA et al., 2014). In this study, males and crossbreed presented higher means in Cin and BPin, then these animals tended for a more compact conformation when compared to females and purebred.

5 CONCLUSION

Crossbreed females and purebred males were more efficient in RFI (negative RFI) than crossbred males and purebred females. Less efficient animals (positive RFI) showed a tendency to spend more time performing feeding behavior.

Males expressed best growth performances, were more compact, showed greater aptitude to beef and ability of muscle accumulation than females.

Crossbred showed better reproductive traits, were more compact, showed greater aptitude to beef and ability of muscle accumulation than purebred.

REFERENCES

- ANDRADE, A. C. S.; MACEDO, F. A. F.; ANTOS, G. R. A.; QUEIROZ, L. O.; MORA, N. H. A. P.; MACEDO, T. G. Regional composition of carcass and tissue composition of cuts from lambs slaughtered with different subcutaneous fat thicknesses. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2019–2028, 2017.
- ARAÚJO FILHO, J. T.; COSTA, R. G.; FRAGA, A. B.; SOUSA, W. H.; GONZAGA NETO, S.; BATISTA, A. S. M.; CUNHA, M. G. G. Efeito de dieta e genótipo sobre medidas morfométricas e não constituintes da carcaça de cordeiros deslanados terminados em confinamento. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 8, n. 4, p. 394–404, 2007.
- ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. Special supplement, p. 269–279, 2008.
- ASSIS, R. M.; PÉREZ, J. R. O.; BARRETO FILHO, J. B.; DE PAULA, O. J.; ALMEIDA, T. R. V.; MACEDO JUNIOR, G. L.; FRANÇA, P. M. Evolução do peso testicular de cordeiros da raça Santa Inês alimentados com diferentes níveis de energia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 5, p. 1219–1226, 2008.
- BARTHOLAZZI JUNIOR, A.; QUIRINO, C. R.; MATOS, L. F.; VEGA, W. H. O.; RUA, M. A. S.; CASTRO, T.; FREITAS, A. C. B.; RIBEIRO, M. S. Medidas lineares de equinos da raça Pônei Brasileiro. **Revista eletrônica de veterinária**, v. 18, n. 2, p. 1–12, 2017.
- BENOÎT, K. G.; ULBAD, T. P.; CYRILLE, B. K.; I-H, D.; SERGE, Z. M.; B., R. A. A.; YVES, B.; CH, H.; ANDRÉ, T. Testicular and body morphometric traits of mature rams of djallonke and ouda breeds reared in north Benin. **International Journal of Veterinary Science**, v. 6, n. 2, p. 108–113, 2017a.
- BENOÎT, K. G.; ULBAD, T. P.; CYRILLE, B. K.; SERGE, Z. M.; CHRISTIAN, H. Relationships between body size and testicular morphometric traits of mature rams of djallonke and ouda breeds reared in north Benin. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, v. 6, n. 1, p. 53–59, 2017b.
- BRAVO, S.; SEPÚLVEDA, N. Índices Zoométricos en Ovejas Criollas Araucanas. **International Journal of Morphology**, v. 28, n. 2, p. 489–495, 2010.
- CAMMACK, K. M.; LEYMASTER, K. A.; JENKINS, T. G.; NIELSEN, M. K. Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior, and daily gain in composite ram lambs. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 4, p. 777–785, 2005.
- CARTAXO, F. Q.; SOUSA, W. H.; CEZAR, M. F.; CUNHA, M. G. G.; MENEZES, L. M.; RAMOS, J. P. F.; GOMES, J. T.; VIANA, J. A. Desempenho e características de carcaça de cordeiros Santa Inês e suas cruzas com Dorper terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 18, n. 2, p. 388–401, 2017.

CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, G. R.; ALVES, K. S. Nutrição e alimentação de ovinos em confinamento. In: FERREIRA, R. A.; VELOSO, C. M.; RECH, C. L. S. (Ed.). **Nutrição animal: tópicos avançados**. Itapetininga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2003. p. 176–213.

CASANOVA, P.; PERE-MIQUEL, L. S. D. Análisis biométrico y funcional de la raza ovina aranesa. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2007.

COCKRUM, R. R.; STOBART, R. H.; LAKE, S. L.; CAMMACK, K. M. Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. **Small Ruminant Research**, v. 113, n. 2–3, p. 313–322, 2013.

COSTA, R. L. D.; QUIRINO, C. R.; AFONSO, V. A. C.; PACHECO, A.; BELTRAME, R. T.; MADELLA-OLIVEIRA, A. F.; COSTA, A. M.; SILVA, R. M. C. Morphometric indices in santa inês sheep. **International Journal of Morphology**, v. 32, n. 4, p. 1370–1376, 2014.

ELMAZ, O.; DIKMEN, S.; CIRIT, U.; DEMIR, H. Prediction of postpubertal reproductive potential according to prepubertal body weight, testicular size, and testosterone concentration using multiple regression analysis in Kivircik ram lambs. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 32, n. 5, p. 335–343, 2008.

GARCIA, I. F. F.; COSTA, T. I. R.; ALMEIDA, A. K.; PEREIRA, I. G.; ALVARENGA, F. A. P.; LIMA, N. L. L. Performance and carcass characteristics of Santa Inês pure lambs and crosses with Dorper e Texel at different management systems. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1313–1321, 2010.

GOMES, R. C.; SANTANA, M. H. A.; FERRAZ, J. B. S.; LEME, P. R.; SILVA, S. L. **Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte**. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2012.

JIMMY, S.; DAVID, M.; DONALD, K. R.; DENNIS, M. Variability in body morphometric measurements and their application in predicting live body weight of mubende and small east African goat breeds in Uganda. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 5, n. 2, p. 98–105, 2010.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.

LEYMASTER, K. A. Fundamental aspects of crossbreeding of sheep: use of breed diversity to improve efficiency of meat production. **Sheep and Goat Research Journal**, v. 17, n. 3, p. 50–59, 2002.

LISBOA-NETO, A. F. S.; MARIANO-FILHO, P. G.; CARVALHO, J. R.; ARAÚJO, M. S.; SANTOS, A. C.; MACHADO, F. C. F.; SILVA-FILHO, M. L.; MACHADO-JÚNIOR, A. A. N. Effect of racial crossing on the scrotum-testicular biometry in sheep submitted to scrotal insulation. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 291–294, 2017.

MCMANUS, C. M.; SANTOS, S. A.; SILVA, J. A.; LOUVANDINI, H.; ABREU, U. G. P.; SERENO, J. R. B.; MARIANTE, A. S. Body indices for the pantaneiro horse. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 45, n. 5, p. 362–370, 2008.

MENEZES, A. M.; LOUVANDINI, H.; ESTEVES, G. I. F.; DALCIN, L.; CANOZZI, M. E. A.; BARCELLOS, J. O. J.; MCMANUS, C. Performance and carcass traits of Santa Ines lambs finished with different sources of forage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 6, p. 428–437, 2013.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; LU, D.; MILLER, S. P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v. 4, n. 5, p. 692–701, 2010.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; CALDWELL, T. R.; MILLER, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22–30, 2009.

NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2006.

PAULA, E. F. E.; SANTANA, M. H. A.; MONTEIRO, A. L. G.; KULIK, C. H.; KOWALSKI, L. H.; CRUZ, T. A. Consumo alimentar residual em ovinos. **Acta Tecnológica**, v. 8, n. 1, p. 12–21, 2013.

PLOOY, H. du. **Breeds of Livestock - Dorper Sheep**, 1999.

REZENDE, M. P. G.; LUZ, D. F.; RAMIRES, G. G.; OLIVEIRA, M. V. M. Índices zootécnicos de novilhas da raça pantaneira. **Veterinária e Zootecnia**, v. 21, n. 4, p. 550–555, 2014.

SNOWDER, G. D.; VAN VLECK, L. D. Estimates of genetic parameters and selection strategies to improve the economic efficiency of postweaning growth in lambs. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 2704–2713, 2003.

SOBRINHO, T. L.; BRANCO, R. H.; FIGUEIREDO, S.; BONILHA, M.; CASTILHOS, M. De; FIGUEIREDO, L. A. De; RAZOOK, A. G.; EUGÊNIA, M.; MERCADANTE, Z. Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight 1 Consumo alimentar residual e relações com o desempenho de bovinos Nelore selecionados para peso pós-desmame. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 929–937, 2011.

TOE, F.; REGE, J. E. O.; MUKASA-MUGERWA, E.; TEMBELY, S.; ANINDO, D.; BAKER, R. L.; LAHLOU-KASSI, A. Reproductive characteristics of Ethiopian highland sheep I. Genetic parameters of testicular measurements in ram lambs and relationship with age at puberty in ewe lambs. **Small Ruminant Research**, v. 36, p. 227–240, 2000.

YAMAMOTO, S. M.; MACEDO, F. A. F.; ZUNDT, M.; MEXIA, A. A.; SAKAGUTI, E. S.; ROCHA, G. B. L.; REGACONI, K. C. T.; MACEDO, R. M. G. Fontes de óleo vegetal na dieta de cordeiros em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 703–710, 2005.

YEAMAN, J. C.; WALDRON, D. F.; WILLINGHAM, T. D. Growth and feed conversion

efficiency of Dorper and Rambouillet lambs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 10, p. 4628–4632, 2013.

4 CONCLUSÃO

Fêmeas mestiças e machos Santa Inês foram mais eficientes para consumo alimentar residual (CAR negativo) do que machos mestiços e fêmeas Santa Inês. Os animais menos eficientes (CAR positivo) passaram mais tempo em comportamentos alimentares.

Machos apresentaram melhor performance de crescimento, foram mais compactos, mostraram maior aptidão para carne e habilidade de acúmulo de músculo do que as fêmeas.

Os mestiços mostraram melhores características reprodutivas, foram mais compactos e mostraram melhor aptidão para carne e habilidade de acúmulo de músculo do que os Santa Inês.

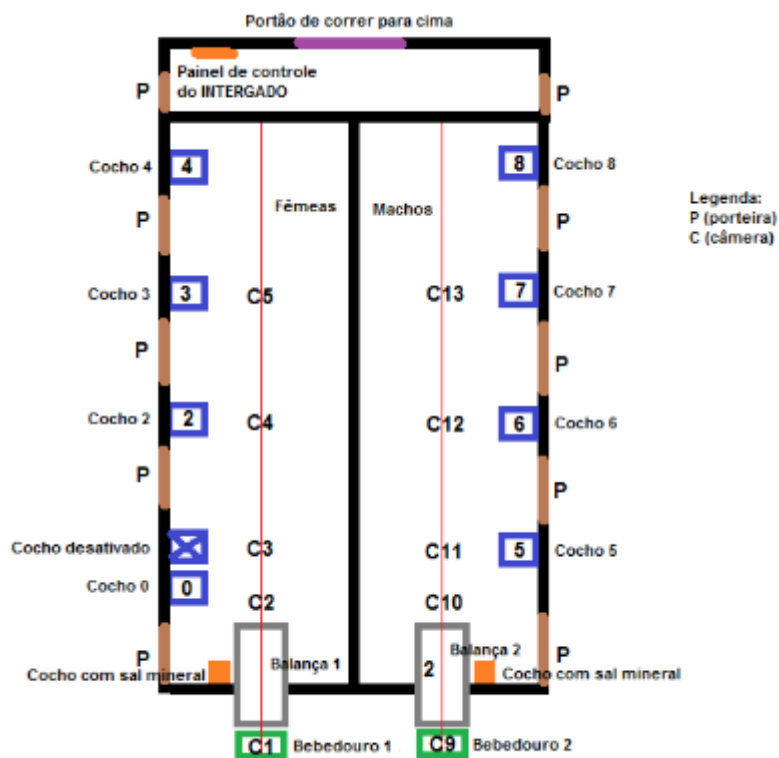
A seleção para características de eficiência alimentar (especialmente para peso e ganho de peso diário), morfometria e índices corporais, testículos e carcaça deve ser realizada com cautela, pois aumentam a ingestão de matéria seca. O aumento na ingestão de matéria seca pode aumentar o tamanho e a necessidade de nutrientes destinados à manutenção dos animais.

Animais mais eficientes no uso da água são mais eficientes no uso dos alimentos, passam menos tempo consumindo concentrado e feno, visitam menos vezes os cochos de concentrado e feno, têm maior aptidão para carne, são mais robustos e têm maiores medidas testiculares.

Para diminuir o consumo de água e aumentar a eficiência no uso de água na produção de ovinos, é importante aumentar a eficiência alimentar e diminuir o tamanho dos animais.

ANEXOS

ANEXO A – Representação esquemática do local onde os animais ficaram confinados durante o experimento.



ANEXO B – Imagens do local do experimento. **A:** baias onde os animais ficaram durante todo o experimento. **B:** cocho com concentrado. **C:** cocho com feno. **D:** balança eletrônica e bebedouro (sempre que o animal consumia água era pesado).

