



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

CAIO JULIO LIMA HERBSTER

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PREDIÇÃO DO CONSUMO DE
ÁGUA EM OVINOS DESLANADOS

FORTALEZA

2024

CAIO JULIO LIMA HERBSTER

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA
EM OVINOS DESLANADOS

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elzania Sales Pereira.
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Inácio Marcondes.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

H461e Herbster, Caio Julio Lima.
Exigências nutricionais de energia e predição do consumo de água em ovinos deslanados / Caio Julio
Lima Herbster. – 2024.
68 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2024.

Orientação: Profa. Dra. Elzania Sales Pereira.

Coorientação: Prof. Dr. Marcos Inácio Marcondes..

1. Climas Tropicais. 2. Exigências de água. 3. Eficiência de utilização de energia. 4. Energia líquida
para a manutenção. 5. Energia líquida para o ganho. I. Título.

CDD 636.08

CAIO JULIO LIMA HERBSTER

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA
EM OVINOS DESLANADOS

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará; como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Aprovada em: 28/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elzania Sales Pereira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Analívia Martins Barbosa
Universidade Federal (UFBA)

Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza
Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Leilson Rocha Bezerra
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Paulo Fernando Herbster e
Maria Aurilia Lima Herbster.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser refúgio, fortaleza e auxílio sempre presente na adversidade.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia UFC-UFPB, por todas as oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

A todos os docentes do Departamento de Zootecnia UFC que fizeram parte tanto da formação pessoal como profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Prof^a Dr^a. Elzania Sales Pereira, por todos os anos de orientação, pela dedicação e pelos conhecimentos dispensados desde o período do Mestrado, por todos os conselhos, ensinamentos passados e, principalmente, pela confiança e pelo estímulo em meu trabalho, muito obrigado!

Aos professores Luciano Pinheiro da Silva e Marcos Inácio Marcondes, pela dedicação e paciência durante o período das análises estatísticas.

A todos os pesquisadores que cederam seus bancos de dados para que esse trabalho pudesse ser realizado.

Aos participantes a banca, Professores Leilson Bezerra, Evaristo Souza, Luciano Silva e Analívia Barbosa, pela disponibilidade e colaboração para a melhoria do trabalho.

Aos meus pais, Paulo e Aurilia, e ao meu irmão, Paulo Vinicius, vocês são a minha base e porto seguro, obrigado!

Aos meus amigos da pós-graduação, Brito Neto, Evandra Justino e Dayanne Ribeiro, por todos os momentos compartilhados. A caminhada foi mais leve com vocês.

À Amanda Rocha, por compartilhar momentos de alegria, insegurança e superação, muito obrigado!

“Viver é um rasgar-se e remendar-se”
(Guimarães Rosa).

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo estimar as exigências nutricionais de energia para a manutenção e ganho de fêmeas Santa Inês x Dorper e desenvolver modelos matemáticos de predição de consumo de água (CA) para ovinos deslanados. No primeiro estudo, foram utilizadas 28 fêmeas mestiças de Santa Inês x Dorper com PC inicial (PCi) de $19,50 \pm 1,43$ kg distribuídas em delineamento inteiramente casualizado em três níveis alimentares (*ad libitum*, 30 e 60% de restrição alimentar). No início do ensaio experimental quatro animais foram abatidos como grupo referência para estimativa do peso de corpo vazio inicial (PCVZi) e composição corporal inicial dos animais remanescentes. A ELM foi estimada em $77,31 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCVZ}$ dia e a *km* foi 63,80%. O modelo de para estimar Elg (Mcal/dia) foi: $0,397 (\pm 0,068) \times \text{PCVZ}^{0,75} \times \text{GPCVZ}^{0,9168} (\pm 0,079)$ $R^2 = 0,99$ RMSE=0,002. A *kg* foi de 35%. Em conclusão, os requerimentos de energia para manutenção de fêmeas Santa Inês x Dorper são semelhantes aos reportados pelos Comitês Internacionais NRC (2007) e CSIRO (2007). Já os requerimentos de energia para ganho foram maiores que os reportados pelos Comitês Internacionais NRC (2007) e CSIRO (2007). No segundo estudo, o banco de dados utilizado foi oriundo de oito estudos contendo 185 observações individuais de ovinos deslanados com três classes sexuais (120 machos não castrados, 22 castrados e 43 fêmeas) em sistema de confinamento. O procedimento *stepwise* usando uma regressão de mínimos quadrados ordinários com significância de $P < 0,05$ para determinar quais variáveis seriam incluídas no modelo de predição. Em seguida, foi utilizado um modelo de coeficiente aleatório, considerando o efeito aleatório de estudo e incluindo a possibilidade de covariância entre o intercepto e a inclinação. A classe sexual foi considerada como efeito fixo e testada nos parâmetros do modelo. Para o procedimento de validação do modelo, a comparação entre os valores preditos e observados foi realizada utilizando o *software Model Evaluation System*. A classe sexual não influenciou ($P = 0,3340$) do modelo de predição de CA de ovinos deslanados, sendo uma única equação gerada: $\text{CA (kg/dia)} = 0,1282 (\pm 0,5861) + 2,4186 (\pm 0,5842) \times \text{CMS}$ ($R^2=0,70$; MSE= 0,1631; AIC = 297,6). A validação indicou que o modelo sugerido prediz com precisão o CA de ovinos deslanados ($P > 0,05$ para o intercepto) e ($\beta_0=0$) e inclinação ($\beta_1=1$). Em conclusão, o modelo de predição permite estimar com precisão o CA em ovinos deslanados.

Palavras-chave: climas tropicais; exigências de água; eficiência de utilização de energia, energia líquida para a manutenção; energia líquida para o ganho.

ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the nutritional energy requirements for the maintenance and gain of Santa Inês x Dorper females and to develop mathematical models for prediction of water intake (WI) for hair sheep. In the first study, 28 Santa Inês x Dorper females were used in a completely randomized design with three dietary levels (*ad libitum*, 30 and 60% feed restriction). At the beginning of the experimental trial, four animals were slaughtered as a reference group to estimate the initial empty body weight (EBWi) and initial body composition of the remaining animals. The NEm was estimated at 77.31 kcal/kg^{0.75} EBW day and the *km* was 63.80%. The model to estimate NEg (Mcal/day) was: $0.397 (\pm 0.068) \times \text{EBW}^{0.75} \times \text{EBWG}^{0.9168} (\pm 0.079) R^2 = 0.99 \text{ RMSE}=0.002$. The *kg* was 35%. In conclusion, the energy requirements for maintaining Dorper x Santa Inês females are similar to those reported by International Committees NRC (2007) and CSIRO (2007). The energy requirements for gain are higher than those reported by International Committees NRC (2007) and CSIRO (2007). In the second study, the data set used was derived from eight studies containing 185 individual observations of hair sheep with three sex classes (120 non-castrated males, 22 castrated and 43 females) in a feedlot system. The stepwise procedure used an ordinary least squares regression with significance of $P < 0.05$ to determine which variables would be included in the prediction model. Then, a random coefficient model was used, considering the random effect of the study and including the possibility of covariance between the intercept and slope. The sex class was considered a fixed effect and tested in the model parameters. For the model validation procedure, the comparison between predicted and observed values was carried out using the Model Evaluation System software. The sex class did not affect ($P = 0.3340$) the model for predicting the WI of hair sheep, with a single equation generated: $\text{WI (kg/day)} = 0.1282 (\pm 0.5861) + 2.4186 (\pm 0.5842) \times (\text{R}^2=0.70; \text{MSE}= 0.1631; \text{AIC} = 297.6)$. Validation indicated that the suggested model accurately predicts the CA of hair sheep ($P > 0.05$ for the intercept) and ($\beta_0= 0$) and slope ($\beta_1= 1$). In conclusion, the prediction model allows us to accurately predict WI in hair sheep.

Keywords: energy use efficiency; net energy for maintenance; net energy for gain; tropical climates; water requirements.

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Exigências nutricionais de energia	13
2.2	Requerimentos de água para ruminantes	17
3	EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA DE FÊMEAS SANTA INÊS X DORPER	20
3.1	Introdução	22
3.2	Material e métodos	23
3.2.1	<i>Declaração de ética</i>	23
3.2.2	<i>Animais, Instalações e procedimentos experimentais</i>	23
3.2.3	<i>Procedimentos de abate e amostragens de componentes corporais</i>	25
3.2.4	<i>Análises químicas e fluxo de energia</i>	26
3.2.5	<i>Consumo de energia</i>	27
3.2.6	<i>Composição corporal e retenção de energia</i>	28
3.2.7	<i>Exigências de energia para manutenção e ganho</i>	29
3.2.8	<i>Análises estatísticas</i>	30
3.3	Resultados	30
3.4	Discussão	38
3.5	Conclusão	41
4	PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM OVINOS DESLANADOS	42
4.1	Introdução	44
4.2	Material e métodos	45
4.2.1	<i>Declaração de ética</i>	45
4.2.2	<i>Critérios de inclusão dos estudos</i>	45
4.2.3	<i>Consumo de matéria seca, água e variáveis climáticas</i>	48
4.2.4	<i>Ensaio de Digestibilidade e consumo de energia metabolizável</i>	49
4.2.5	<i>Análises químicas</i>	49
4.2.6	<i>Análises estatísticas</i>	50
4.2.7	<i>Validação do Modelo</i>	50
4.3	Resultados	53
4.4	Discussão	56
4.5	Conclusão	59

REFERÊNCIAS	60
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os ovinos deslanados desempenham um importante papel nos sistemas de produção mundiais, principalmente em regiões tropicais e semiáridas (Chay-canul *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2017). Esses animais passaram por um longo processo de seleção natural e, por consequência, desenvolveram processos adaptativos que modificaram suas características fisiológicas para suportar as condições impostas nessas áreas, tais como elevadas temperaturas e sazonalidade na oferta de alimento (Pereira *et al.*, 2018), sendo utilizados principalmente em sistemas para produção de carne (Costa *et al.*, 2013).

Ovinos deslanados, embora localmente adaptados, tendem a apresentar taxas de crescimento mais lentas e uma conformação de carcaça inferior quando comparados com as raças lanadas especializadas para a produção de carne (López-Carlos *et al.*, 2010). Nesse contexto, algumas estratégias têm sido utilizadas para produzir cordeiros de forma mais eficiente e com elevado padrão de carcaça, por exemplo, a terminação dos animais em confinamento e a adoção de cruzamentos entre raças lanadas especializadas na produção de carne e ovinos deslanados, visando ao aumento da produtividade, sem comprometer a capacidade de adaptação desses animais ao ambiente (Sousa *et al.*, 2016; Figueiredo *et al.*, 2019).

A nutrição é o item que possui o maior custo operacional nos sistemas de produção, o que destaca a importância de as formulações de dietas serem baseadas em modelos de predição de exigências nutricionais precisos e acurados, para que a eficiência produtiva e econômica seja alcançada (Valadares Filho; Chizzotti; Paulino, 2009). No entanto, as formulações de dietas ainda são baseadas nas recomendações dos Comitês Internacionais desenvolvidos sob diferentes condições ambientais e com o uso de genótipos distintos dos encontrados em regiões tropicais e semiáridas (AFRC, 1993; NRC, 2007; CSIRO, 2007). Dessa forma, as recomendações estabelecidas por esses Comitês podem não ser adequadas para os genótipos presentes nos trópicos (Oliveira *et al.*, 2018; Herbster *et al.*, 2024). Dessa forma, a determinação das exigências nutricionais dos ovinos deslanados e seus cruzamentos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de alimentação mais precisas e eficazes, visando ao aumento da produtividade e ao lucro no sistema de produção.

A água é um nutriente essencial para homeostase da temperatura corporal, digestão, metabolismo geral e excreção de substâncias provenientes do metabolismo (NRC, 2007). De forma similar aos estudos para a determinação dos requerimentos nutricionais de energia, proteína ou minerais, os requerimentos de água para pequenos ruminantes possuem

grande importância, principalmente em regiões tropicais e semiáridas (Araújo *et al.*, 2010) onde esse recurso está cada vez mais restrito para a produção animal em termos quantitativos e qualitativos (Chedid *et al.*, 2014). Além disso, os sistemas de produção de ovinos demandam uma considerável quantidade de água. Segundo Hoekstra (2011), são necessários aproximadamente 6100 litros/ kg de carne ovina produzida, o que justifica realização pesquisas com o objetivo de maximizar uso eficiente da água nos sistemas de produção.

O consumo voluntário de água é um dos principais componentes das exigências totais de água dos animais (Alberg *et al.*, 2018), podendo ser influenciado por diversos fatores como a dieta, o peso corporal, a raça e as variáveis climáticas (Zanetti *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2010). Diversos estudos já demonstraram o efeito significativo da restrição de água sobre o consumo de matéria seca, digestibilidade, ganho de peso (Chedid *et al.*, 2014; Albuquerque *et al.*, 2020). No entanto, poucos estudos foram realizados visando estimar o consumo de água para ovinos (Forbes, 1968; Luke, 1987) sendo ainda mais limitadas as informações sobre animais criados em condições de trópicos (Araújo *et al.*, 2010). Assim, estudos destinados à predição do consumo de água tornam-se importantes para determinar a demanda de água nos sistemas de produção e garantir a sua disponibilidade adequada para os animais.

A hipótese desse estudo é que fêmeas mestiças de Santa Inês x Dorper apresentam exigências nutricionais de energia diferentes das sugeridas pelo Comitês Mundiais e que as equações de predição de consumo de água estabelecidas por ambos NRC (2007) e CSIRO (2007) não estimam adequadamente o consumo de água de ovinos deslançados. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi estimar as exigências nutricionais de energia de fêmeas Santa Inês x Dorper e gerar um modelo predição do consumo de água para ovinos deslançados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Exigências nutricionais de energia

Energia pode ser definida como o potencial para realizar trabalho (NRC,1996; NASEM, 2016). Existem várias formas de energia: química, elétrica, mecânica, térmica, entre outras (NRC, 1981a). Em termos nutricionais, energia não é considerada nutriente, uma vez que é liberada do alimento a partir dos constituintes orgânicos (carboidratos, proteínas e lipídeos) que são susceptíveis à oxidação (Resende *et al.*, 2008). Geralmente a energia é expressa em termos de calorias ou joules, de maneira que para converter calorias em joules basta considerar que 1 caloria possui 4,184 joules. De maneira geral, 1 caloria seria quantidade de calor aproximada para elevar a temperatura de 1 grama de água de 16,5 °C para 17,5 °C. As calorias ainda podem ser expressas na forma de quilocalorias (1000 calorias) ou megacalorias (1000 quilocalorias).

A energia bruta (EB), que também pode ser referenciada como calor de combustão, é a energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a gás carbônico (CO₂) e água (H₂O) (Kozloski, 2017). A EB está mais relacionada à composição do alimento e não possui qualquer informação sobre a disponibilidade da energia para o animal, limitando, assim, sua utilização apenas como uma forma de avaliar o valor energético de algum alimento ou dieta para os animais (NASEM, 2016).

Quando a quantidade de energia presente nas fezes é subtraída da EB consumida, temos como resultado a energia digestível (ED) (Posada *et al.*, 2011). No entanto, para animais ruminantes, devido à ED não considerar as perdas energéticas relacionadas à digestão e o metabolismo do alimento (NASEM, 2016), ocorrem superestimativas do valor energético de dietas ricas em fibra quando comparadas a dietas com baixo teor de fibras (Ferrell, 1993). A energia metabolizável (EM) que é obtida através da subtração da EB consumida menos a energia perdida nas fezes, na urina e nos gases provenientes da fermentação (NRC,1981a) é a medida adequada para expressar o valor energético dos alimentos e requerimentos nutricionais dos animais ruminantes (NASEM, 2016). Um fato importante sobre a EM é que seu valor é utilizado como uma referência para os Comitês Internacionais baseados no conceito de energia líquida (EL), podendo ser expressa como o somatório entre a energia retida ou recuperada (ER) e a produção de calor (PCI) (Posada *et al.*, 2011). EL é definida como a energia disponível para a manutenção do animal e para fins produtivos (NRC, 1985).

As principais técnicas utilizadas nos estudos de metabolismo de energia são a calorimetria e o abate comparativo. As técnicas calorimétricas são divididas em calorimetria direta e indireta. Na calorimetria direta, o calor liberado pelo animal é medido pelo aumento na temperatura de um volume conhecido de água ou por meio de corrente elétrica. Por outro lado, a calorimetria indireta, que pode ser de circuito aberto ou fechado, o calor é obtido através dos quocientes respiratórios (quantidade de gás carbônico produzido: quantidade de oxigênio consumida), que para carboidratos, proteínas e gordura são 1,0; 0,8 e 0,7, respectivamente (Posada *et al.*, 2011; Rodriguez *et al.*, 2007). Assim, na técnica da calorimetria, a PCI e o CEM são determinados e a ER é obtida pela diferença entre esses componentes do balanço de energia. Essa metodologia foi base para o estabelecimento das exigências de energia dos Comitês Internacionais Agricultural Research Council (ARC, 1980), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO, 2007), Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1993) e National Research Council (NRC, 1989). No entanto, as limitações de utilizar as técnicas calorimétricas estão principalmente nas diferenças entre as condições experimentais de laboratório com ambiente controlado em relação às condições práticas de alimentação dos animais (NRC, 1996).

A técnica de abate comparativo, de forma diferente dos estudos de calorimetria, o CEM e ER são determinados e a PCI é estimada. Essa técnica foi executada pela primeira vez por Laws e Gilbert (1861), no entanto, seu uso foi popularizado com o estudo publicado por Garrett, Meyer e Lofgreen (1959), servindo como base para os estudos que originaram o NRC (1976; 1984; 1996) e NASEM (2016). Essa técnica consiste em mensurar a variação de energia (ou seja, a ER) no corpo dos animais durante certo período. A premissa básica do abate comparativo é que a composição corporal inicial dos animais do grupo experimental pode ser estimada com precisão a partir a composição corporal de animais semelhantes aos animais experimentais que foram abatidos no início do período experimental, sendo esses animais denominados grupo referência (Pereira *et al.*, 2018; Teixeira *et al.*, 2019). A desvantagem do abate comparativo é o fato dessa técnica ser bastante laboriosa e possuir elevado custo, uma vez que os animais precisam ser abatidos e ocorrer a dissecação de todos os componentes do corpo para posterior quantificação de seus componentes químicos para a determinação do conteúdo de energia corporal (Silva *et al.*, 2023). Porém, com relação às técnicas calorimétricas, o abate comparativo possui como vantagem a similaridade dessa técnica com as condições práticas de alimentação presentes nos sistemas de produção (NRC, 1996).

Os Comitês Internacionais de avaliação de alimentos e exigências nutricionais

para ruminantes, de uma maneira geral, utilizam o método fatorial para expressar as exigências nutricionais, no qual fracionam as exigências de energia líquida em seus diversos componentes, como manutenção, ganho, gestação, lactação e síntese de pelo ou lã (Resende *et al.*, 2008). Muito embora esse tipo de fracionamento seja igual na maioria do Comitês, os valores recomendados para cada comitê podem ser diferentes, uma vez que esses diferem em suas abordagens assim como adotam diferentes critérios para a determinação de seus modelos de estimativa.

A exigência de energia líquida para a manutenção (Elm) pode ser definida como a quantidade de calor produzido por um animal em estado de jejum absoluto que representa a quantidade de energia necessária para que o animal mantenha o funcionamento adequado de suas funções vitais sem que ocorra alterações na sua composição corporal (ARC, 1980). Originalmente, Lofgreen e Garrett (1968) ajustaram um modelo linear entre a PCI e CEM utilizando uma equação semi-logarítmica: $\text{Log PCI} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{CEM}$, em que o antilogaritmo do intercepto é considerado a ELM. Essa abordagem com modelo linearizado foi bastante utilizada, porém, o avanço dos softwares estatísticos permitiu o uso de modelos não lineares (Valadares Filho; Chizzotti; Paulino, 2009) como o modelo sugerido por Ferrell e Jenkins (1998) $\text{PCL} = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times \text{CEM})}$ em que o intercepto desse modelo é considerado a Elm, quando o CEM for igual a zero.

Entre os fatores que influenciam as exigências de Elm estão: peso corporal, raça, genótipo, classe sexual, idade, condição fisiológica, nível nutricional, condições ambientais, ente outros fatores (ARC, 1980; NRC, 2007; CSIRO, 2007). Os valores recomendados pelos principais Comitês Internacionais NRC (1985; 2007) e CSIRO (2007) de Elm são 56, 62 e 66 kcal/kg^{0,75} PCJ, respectivamente. No entanto, Oliveira *et al.* (2018), em um estudo meta-analítico com ovinos deslanados criados em regiões tropicais, recomendou o valor de 50 kcal/kg^{0,75} PCJ, atribuindo essa diferença no requerimento de Elm as adaptações fisiológicas dos animais deslanados as regiões de clima tropical.

Considerando que, por definição, a ELM corresponde à produção de calor do animal em jejum, sua utilização direta na formulação de rações é limitada, uma vez que os animais em produção não estão estado de jejum (Herbster *et al.*, 2024). Sendo assim, as exigências de manutenção devem ser calculadas de forma mais aplicável nos sistemas de produção. Nesse contexto, o conceito de energia metabolizável para a manutenção (EMm) seria o mais adequado, já que representa o ponto em que o consumo de energia metabolizável se iguala à produção de calor, ou seja, não há nenhuma retenção de energia no corpo do animal (Lofgreen; Garrett, 1968).

A maioria dos Comitês Internacionais (CSIRO, 2007; NRC, 2007; INRA, 2018) baseia-se no conceito de energia metabolizável, que é estimada a partir da Elm utilizando uma eficiência de utilização de energia para a manutenção (km) (Teixeira *et al.*, 2019). A km pode ser obtida aplicando-se um processo iterativo ao modelo exponencial da PCI em função do CEM para determinar o ponto onde a PCI e o CEM se igualam, sendo o valor considerado a EMm (Ferrell; Jenkins, 1998) e a km pode então ser estimada a partir da divisão entre ELm e EMm. Fatores como o sexo, a raça, a idade, o ambiente e a concentração de energia metabolizável da dieta (AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007) podem afetar a km . Além disso, k_m também pode ser influenciada por características relacionadas ao desempenho dos animais (Williams; Jenkins, 2003a; Marcondes *et al.*, 2013).

A energia líquida para o ganho (Elg) pode ser definida como a quantidade de energia depositada no ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) na forma de proteína e gordura (Garrett; Meyer; Lofgreen, 1959; NRC, 1996). Dessa forma, pode-se inferir que a composição de GPCVZ é o principal determinante nas exigências de Elg. Nesse sentido, conhecer o peso e a maturidade é importante, uma vez que a composição do GPCVZ varia em função do peso relativo à maturidade (NRC, 2007), pois, durante o crescimento do animal, à medida que se aproxima do peso maduro, os teores de proteína tendem a se estabilizar enquanto o teor de gordura aumenta no GPCVZ (Mendes *et al.*, 2021a). Assim, para a determinação das exigências de Elg, a utilização da correção para o ajuste de maturidade torna-se fundamental para a melhoria nos modelos de estimativa.

Da mesma forma que a Elm, a Elg não possui uma aplicação direta para a formulação de dietas, sendo necessária a conversão para a energia metabolizável para o ganho (EMg). Para essa conversão, é necessário conhecer a eficiência de utilização da energia para o ganho (kg). De maneira geral, o kg pode ser determinado pela relação linear entre a energia retida (ER) e o consumo de energia metabolizável para o ganho (CEMg), ou seja, o CEM acima da manutenção, assumindo que ER é nula quando CEM acima da manutenção é igual a zero, sendo descrito como o seguinte modelo $ER = k_g \times (CEM - EMm)$ (Galvani *et al.*, 2014; Teixeira *et al.*, 2019). No entanto, os valores de k_g variam conforme as proporções de energia retida na forma de gordura ou de proteína (Tedeschi; Fox; Guiroy, 2004), ressaltando que a eficiência de deposição de energia na forma de gordura é mais eficiente se comparado à proteína (CSIRO, 2007; Marcondes *et al.*, 2016), ou seja, quanto maior a proporção de proteína no ganho de peso menor será a eficiência energética, da mesma forma que o aumento da deposição de gordura a eficiência energética será elevada. Graham (1980) reportou os valores de 30% e 40% para as eficiências parciais de deposição de gordura (k_{gord}) e proteína

(k_{prot}), respectivamente. Já Galvani *et al.* (2014) obtiveram valores de 18% e 74% e o CSIRO (2007) recomenda 45% e 75% para k_{prot} e k_{gord} , respectivamente, demonstrando a maior eficiência energética da deposição de gordura. Baseados nessa premissa, alguns estudos foram desenvolvidos utilizando os valores de energia retida na forma de proteína e valores das eficiências parciais de k_{prot} e k_{gord} para determinação da kg (Tedeschi; Fox; Guiroy, 2004; Marcondes *et al.*, 2013). No entanto, um indicativo é de que a energia retida na forma de proteína seja a variável que melhor explica a kg , pois relaciona a eficiência de ganho com a composição do GPCVZ dos animais (Tedeschi; Fox; Guiroy, 2004; Chizzotti *et al.*, 2008; Marcondes *et al.*, 2013).

Outra abordagem que é adotada pela maioria dos Comitês Internacionais é a estimativa do kg pela concentração de energia presente na dieta (ARC, 1980; NRC, 2007; CSIRO, 2007). Essa premissa é baseada no fato de que dietas com elevada concentração energética proporcionam uma maior quantidade de propionato disponível, o que fornece a quantidade adequada de equivalentes reduzidos pela via das pentoses fosfatadas (Baldwin *et al.*, 1976), uma vez que há maior disponibilidade de substrato gliconeogênico para a realização dessa via, que pode estimular a síntese de gordura corporal (Coelho Da Silva; Leão, 1979). No entanto, Galvani *et al.* (2014), comparando a estimativa de kg com base na de energia da dieta e baseado também na composição do GPCVZ, demonstraram que, de maneira geral, os modelos que consideram a energia da dieta superestimam os valores de kg .

2.2 Requerimentos de água para ruminantes

Os requerimentos de água para os animais de produção são satisfeitos a partir de três fontes principais: o consumo voluntário de água, a água contida nos alimentos e a água metabólica produzida a partir da oxidação de nutrientes orgânicos (NRC, 1981b). A água contida nos alimentos é extremamente variável podendo apresentar um nível mínimo de 10% em forragens secas e grãos até cerca de 65-90% em forragens verdes (NRC, 2007; Costa *et al.*, 2009; Nobre *et al.*, 2023). Com relação à água metabólica, o catabolismo de 1 kg de gordura, carboidrato ou proteína produz aproximadamente 1.190, 560 ou 450 g de água, respectivamente, sendo essa fonte de água importante, particularmente para animais criados em ambientes quentes (Church *et al.*, 1974).

A determinação dos requerimentos de água é um processo complexo que envolve a solução da equação de balanço de água, cuja água consumida deve atender ao total de perda de água e a água retida no corpo (Araújo *et al.*, 2010). As perdas de água pelos animais

ocorrem principalmente via fezes, urina, evaporação da superfície corporal e do trato respiratório (Mcdowell; Weldy, 1967). Nos grandes ruminantes, a perda de água pelas fezes é elevada chegando a se aproximar das perdas urinárias. As fezes de bovinos contêm 75-85% de água, enquanto as fezes de ovinos e caprinos contêm uma quantidade inferior com cerca de 60-65% de água (Silanikove, 2000). A capacidade de reabsorver água na parte inferior do intestino e excretar fezes mais secas em vez de úmidas e soltas nos pequenos ruminantes remete a um mecanismo de conservação de água devido a esses animais serem originários de regiões áridas e semiáridas (Silainikove, 1992; Tedeschi; Cannas; Fox, 2010).

Segundo NASEM (2016), os requerimentos de água para ruminantes se aproximam do consumo voluntário de água, sendo complementado por uma parte menos significativa da água presente nos alimentos e a água metabólica. Vários fatores influenciam o consumo voluntário de água, e conseqüentemente as exigências de água, como a espécie animal, a condição fisiológica, o nível de ingestão de matéria seca e as variáveis climáticas (NRC, 1981b; Forbes, 1968; Alberg *et al.*, 2018).

Com relação à espécie, animais zebuínos tendem a apresentar menores consumos de água quando comparados a animais taurinos (Winchester; Morris, 1956). Schoeman e Visser (1995), em estudo com três raças de ovinos, oriundos de regiões temperadas (Mutton Merino), animais intermediários (Dorper) e animais originários de deserto (Blackhead Persian), encontraram maiores consumos de água para ovinos originários de clima temperado no período de temperaturas mais elevadas quando comparados aos ovinos oriundos de climas áridos e semiáridos. Em estudos avaliando o consumo de água entre espécies, Aganga *et al.* (1989) encontraram um maior *turnover* de água em ovinos em relação aos caprinos. Alves *et al.* (2007) relataram médias de consumo de água para ovinos de 3,62 litros/dia e caprinos de 2,31 litros/dia.

Outro fator importante é a condição fisiológica. O NRC (1981b) reportou que ovelhas com gestação gemelar possuem um consumo de água duas vezes maior do que ovelhas não prenhes. Forbes (1968) relatou que as ovelhas em lactação consomem de 100 a 164% mais água do que as ovelhas não gestantes.

O consumo voluntário de água é um importante componente dos requerimentos totais de água, podendo variar de 7 a 8% em bovinos (Alberg *et al.*, 2018) e de 5 a 15% em ovinos (Chikwanha *et al.*, 2021). No entanto, poucos estudos avaliaram a predição do consumo voluntário de água, principalmente se tratando de animais criados em regiões tropicais e semiáridas (Araújo *et al.*, 2010). Os principais Comitês Internacionais de recomendação de exigências nutricionais para ovinos pouco avançaram nas recomendações

do consumo de água. ARC (1980) e NRC (1985; 2007) sugerem a equação oriunda do trabalho de Forbes (1968), porém, esse estudo utilizou um número limitado de animais (nove animais) Border Leicester x Cheviot e Specklefaced para gerar o modelo de predição. Além disso, as condições ambientais apresentadas no estudo de Forbes (1968) diferem dos ambientes tropicais e semiáridos. O CSIRO (2007) recomenda a equação de Luke (1987), que sugere um modelo de consumo de água baseado na temperatura máxima diária, sendo esse modelo gerado principalmente com animais da raça Merino Australiano.

Nesse contexto, considerando a importância desse recurso para o sistema de produção de ovinos, a geração de modelos de predição de consumo de água precisos é uma necessidade eminente para otimizar a utilização desse recurso.

3 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA DE FÊMEAS SANTA INÊS X DORPER

RESUMO: Objetivou-se com esse estudo estimar as exigências nutricionais de energia para a manutenção e ganho de fêmeas Santa Inês × Dorper. Foram utilizadas 28 fêmeas mestiças de Santa Inês x Dorper distribuídas em delineamento inteiramente casualizado em três níveis alimentares (*ad libitum*, 30 e 60% de restrição alimentar), com PC inicial (PCi) de $19,50 \pm 1,43$ kg. No início do ensaio experimental, quatro animais foram abatidos como grupo referência para estimativa do peso de corpo vazio inicial (PCVZi) e da composição corporal inicial dos animais remanescentes. Os animais foram abatidos aos 135 dias de experimento. Os requerimentos líquidos de energia para a manutenção (Elm) foram obtidos pela regressão entre produção de calor (PCI) e consumo de energia metabolizável (CEM). Os requerimentos de energia metabolizável para manutenção (EMm) foram calculadas pelo método iterativo, e a eficiência de utilização da energia metabolizável para a manutenção (*km*) foi obtida dividindo o valor do Elm pelo valor de EMm. Os requerimentos líquidos de energia para ganho (ELg) foram estimados a partir da relação entre a energia retida (ER) e o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ). A eficiência de utilização de energia para ganho de peso (*kg*) foi obtida a partir da relação entre o ER e a o consumo de energia metabolizável para o ganho (CEMg), com a retirada do intercepto. A ELm foi estimada em $77,31 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia}$ e a *km* foi 63,80%. O modelo para estimar a Elg (Mcal/dia) foi: $0,397 (\pm 0,068) \times \text{PCVZ}^{0,75} \times \text{GPCVZ}^{0,9168} (\pm 0,079) R^2 = 0,99 \text{ RMSE}=0,002$. Os requerimentos de energia líquida para o ganho aumentaram à medida que o peso corporal aumentou. A *kg* foi de 35%. Os requerimentos de energia para manutenção de fêmeas Dorper x Santa Inês são semelhantes aos reportados pelos Comitês Internacionais NRC (2007) e CSIRO (2007). Os requerimentos de energia para ganho são maiores que os reportados pelos Comitês Internacionais. Assim, recomenda-se a utilização do valor de $77,31 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia}$ de Elm e a *km* foi 63,80% para a estimativa de EMm e o modelo: $0,397 (\pm 0,068) \times \text{PCVZ}^{0,75} \times \text{GPCVZ}^{0,9168} (\pm 0,079)$ para estimativa de Elg e a *kg* foi de 35% para estimativa de EMg.

Palavras-chave: composição corporal; energia líquida para o ganho; energia líquida para a manutenção; clima tropical.

NUTRITIONAL ENERGY REQUIREMENTS OF SANTA INÊS × DORPER FEMALES

ABSTRACT: The aim of this study was to estimate the nutritional energy requirements for the maintenance and gain of Santa Ines x Dorper females. Twenty-eight Santa Ines x Dorper crossbred females distributed in a completely randomized design with three feeding levels (*ad libitum*, 30 and 60% of feed restriction), with an initial BW (BW_i) of 19.50 kg (\pm 1.43). At the beginning of the experimental trial, four animals were slaughtered as a reference group to estimate the initial empty body weight (EBW_i) and the initial body composition of the remaining animals. The animals were slaughtered 135 days into the experiment. The net energy requirements for maintenance (NEm) were obtained by regression between heat production (HP) and metabolizable energy intake (MEI). The metabolizable energy requirements for maintenance (MEM) were calculated using the iterative method, and the efficiency of using metabolizable energy for maintenance (*km*) was obtained by dividing the NEm value by the MEM value. Net energy requirements for gain (NEg) were estimated from the relationship between retained energy (RE) and empty body weight gain (EBWG). The efficiency of energy use for weight gain (*kg*) was obtained from the relationship between RE and metabolizable energy intake for weight gain (MEIg), with the removal of the intercept. The NEm was estimated at 77.31 kcal/kg^{0.75} EBW day and the *km* was 63.80%. The model to estimate NEg (Mcal/day) was: $0.397 (\pm 0.068) \times \text{EBW}^{0.75} \times \text{EBWG}^{0.9168} (\pm 0.079) R^2 = 0.99$ RMSE=0.002. Net energy requirements for gain increased as body weight increased. The *kg* was 35%. The energy requirements for maintaining Dorper x Santa Inês females are similar to those reported by International Committees NRC (2007) and CSIRO (2007). The energy requirements for gain are higher than those reported by International Committees NRC (2007) and CSIRO (2007). Therefore, it is recommended to use the value of 77.31 kcal/kg^{0.75} EBW day of NEm and the *km* was 63.80% for the estimation of MEM and the model: $0.397 (\pm 0.068) \times \text{EBW}^{0.75} \times \text{EBWG}^{0.9168} (\pm 0.079)$ for estimating NEg and *kg* was 35% for estimating MEg.

Keywords: body composition; net energy for gain; net energy for maintenance; tropical climate.

3.1 Introdução

A produção pecuária nos trópicos tem grande importância no cenário mundial, devido à grande quantidade de animais presentes nessas regiões como também o número de pessoas que se beneficiam dessa atividade (Oosting *et al.*, 2014). Essas regiões se caracterizam por altas temperaturas, muitas vezes associadas à sazonalidade na oferta de alimentos (Regadas Filho *et al.*, 2013), fazendo com que os genótipos oriundos dessas regiões apresentem características fisiológicas peculiares para a sobrevivência nessas condições (Regadas Filho *et al.*, 2011).

Genótipos localmente adaptados como os ovinos deslanados geralmente estão bem adaptados às condições presentes em regiões tropicais (Mcmannus *et al.*, 2020). No entanto, possuem menores taxas de ganho, quando comparados a raças lanadas especializadas na produção de carne (Malhado *et al.*, 2009). Assim, o cruzamento de raças especializadas para corte com ovinos deslanados tem se tornado uma ferramenta importante no sistema de produção de ovinos (Souza *et al.*, 2016), forma de aumentar a produtividade sem comprometer a resistência desses animais às condições ambientais (Dearborn *et al.*, 2023).

A energia é o componente que mais limita a produtividade animal, e juntamente com a proteína, representa as frações de maior custo na alimentação animal (Posada *et al.*, 2011). Dessa forma, a precisão e a acurácia dos modelos de recomendação de exigência de energia são fundamentais para a aplicabilidade dessas recomendações nos sistemas de produção (Herbster *et al.*, 2024) com o objetivo de minimizar a excreção de nutrientes e reduzir a contaminação ambiental (Tedeschi, 2023).

O desenvolvimento de estudos para a determinação dos requerimentos nutricionais de ovinos deslanados vem ganhando destaque em regiões tropicais (Oliveira *et al.*, 2018, Herbster *et al.*, 2022; Herbster *et al.*, 2024). No entanto, poucos estudos foram desenvolvidos avaliando a influência dos cruzamentos entre ovinos deslanados e animais lanados (Galvani *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2021b). Além disso, a maioria dos estudos realizados com animais deslanados advém de dados de machos não castrados e machos castrados (Oliveira *et al.*, 2018; Herbster *et al.*, 2024). Sendo assim, a realização de estudos com fêmeas são importantes para melhorar as recomendações de requerimentos nutricionais em regiões tropicais.

Nesse contexto, a hipótese foi que fêmeas do cruzamento Santa Inês x Dorper possuem exigências nutricionais de manutenção e ganho diferentes dos recomendados nos Comitês Internacionais. O objetivo desse estudo foi, portanto, determinar, os requerimentos

de energia para a manutenção e ganho de fêmeas Santa Inês × Dorper criadas em região tropical.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Declaração de ética

Todos os procedimentos realizados com os animais seguiram as diretrizes do Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, número do protocolo (Nº 3381260719).

3.2.2 Animais, Instalações e procedimentos experimentais

O procedimento experimental foi realizado na Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, CE, Brasil (30°43'02'' S, 33°32'35'' W). Foram utilizadas 28 fêmeas mestiças de Santa Inês x Dorper com peso corporal inicial (PCi) de 19,50 kg (\pm 1,43) com aproximadamente 120 dias de idade. Os animais foram identificados, vermifugados (Ivomec, Merial, Duluth, GA) e alocados em baias individuais (1,5 m x 1,5 m) providas de comedouros e bebedouros. Após quinze dias de adaptação, quatro animais foram selecionados aleatoriamente e abatidos para serem utilizados como grupo referência para a estimativa do peso de corpo vazio inicial (PCVZi) e da composição corporal inicial. Os animais remanescentes foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado consistindo em três níveis de alimentares: *ad libitum*, restrição de 30% e 60% em relação ao consumo *ad libitum*, com base na matéria seca da dieta. A dieta experimental foi formulada de acordo com as recomendações do NRC (2007), com relação de volumoso: concentrado de 60:40, para promover ganho de 150 gramas por dia para os animais *ad libitum*, sendo composta de feno de capim Tifton-85, milho grão moído, farelo de soja, fosfato bicálcico e premix mineral (Tabela 1).

Tabela 1 – Proporção dos ingredientes e composição química da ração total

Ingredientes		% Ração total		
Feno de Capim Tifton 85		60		
Farelo de soja		10,83		
Milho grão moído		27,07		
Fosfato Bicálcico		1,048		
Premix Mineral ¹		1,048		
Composição bromatológica	Ração total	Feno Tifton 85	Milho grão moído	Farelo de soja
MS g/kg MN	889,68	907,10	908,20	900,03
PB g/kg MS	163,15	141,80	85,40	507,40
EE g/kg MS	30,77	20,90	60,60	16,90
MM g/kg MS	80,23	80,20	13,20	70,00
FDN g/kg MS	452,01	672,60	120,90	145,20
FDNcp g/kg MS	419,02	619,56	119,34	138,34
FDA g/kg MS	229,91	349,10	31,30	110,6
CHOT g/kg MS	725,80	757,10	840,80	405,70
CNF g/kg MS	306,72	137,60	721,50	266,40
NDT g/kg MS	672,0	-	-	-

MS = Matéria seca; PB = Proteína bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; MO = Matéria orgânica; FDN = Fibra em detergente neutro; FDNcp = Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas; CHOT = Carboidratos totais; CNF = Carboidratos não fibrosos; NDT = Nutrientes digestíveis totais.

^a O Premix mineral foi fornecido por quilograma de matéria seca total da dieta, e a composição era a seguinte: 300-200 g de Ca, 50 g de P, 18 g de S, 40 g de Na, 16,5 g de Mg, 60 mg de Co, 85 mg de I, 2.000 mg de Mn, 11 mg de Se, 2.100 mg de Zn, 3.960 mg de Fe, 122 mg de Cu, 1.000 mg de Fl, 33,6 mg de vitamina A, 0,55 mg de vitamina D, 557,1 mg de vitamina E.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os animais foram alimentados com a ração totalmente misturada em duas ofertas diárias, nos horários de 8:00 h e 16:00 h, permitindo 10% de sobras para os animais *ad libitum*. Os animais foram pesados a cada 15 dias para o acompanhamento do ganho de peso corporal (GPC). Amostras dos ingredientes, ração concentrada e sobras foram coletadas a cada quinze dias, durante cinco consecutivos totalizando seis períodos de coleta durante a duração do experimento, os quais foram acondicionados em sacos plástico e armazenados a -20 °C para posteriores análises bromatológicas. As amostras de fezes de cada animal foram coletadas diretamente da ampola retal durante três dias consecutivos a cada 15 dias, nos seguintes horários: às 8:00 horas no primeiro dia, às 12:00 horas no segundo dia, e às 16:00 horas no terceiro dia, segundo a recomendação de Costa *et al.* (2013).

Para a obtenção da excreção fecal, as amostras de alimentos, as fezes e as sobras foram incubadas no rúmen de uma fêmea bovina Pardo Suíço adulta, a qual foi alimentada com dieta padrão a base de feno de capim Tifton 85 e concentrado (relação volumoso: concentrado de 60:40). A incubação foi realizada utilizando sacos de nylon com porosidade aproximada de 50 µm em uma proporção de 15 mg por cm² de amostra por saco, segundo a

recomendação de Ørskov e McDonald (1979), durante um período de 240 horas. Após o período de incubação, os sacos foram lavados em água limpa até que sua cor estivesse totalmente clara. Posteriormente, os sacos foram fervidos em solução de detergente neutro durante 60 minutos (Van Soest *et al.*, 1991) secos em estufa e os resíduos que permanecerem após a pesagem foram considerados como FDNi (Casali *et al.*, 2008).

As amostras de urina *spot* para determinação da concentração de creatinina e do volume urinário foram coletadas a cada 15 dias, por um dia 4 horas após o fornecimento da RTM, por meio de micção espontânea utilizando bolsas de colostomia. Após a micção, as bolsas de colostomia foram retiradas e a urina amostrada foi filtrada com o auxílio de gaze. Em seguida, uma alíquota de 5 mL de urina foi diluída em 45 mL de uma solução contendo ácido sulfúrico (0,018mM) mantendo o pH abaixo de 3, armazenada a -20°C para análises laboratoriais.

3.2.3 Procedimentos de abate e amostragens de componentes corporais

O abate de todos os animais foi realizado quando o período experimental atingiu 135 dias. Os mesmos procedimentos de abate foram adotados tanto para os animais do grupo referência quanto para os animais do grupo desempenho. Antes do abate, os animais foram pesados e submetidos ao jejum de sólidos e líquidos por 18 horas para a obtenção do peso corporal no jejum (PCJ). Em seguida, os animais foram insensibilizados por meio de concussão cerebral, seguida de secção da veia jugular. O sangue foi coletado e amostrado. O trato gastrointestinal (TGI) foi pesado cheio, esvaziado, lavado, escorrido e pesado, separadamente. A carcaça quente, os demais órgãos (fígado, coração, traqueia + pulmões + língua + esôfago, bexiga, rins, trato reprodutivo e baço), partes do corpo (cabeça, pele, patas e glândula mamária) e gorduras (omental, perirrenal e mesentérica) também foram pesados separadamente. As peles foram pesadas, amostradas em faixas e congeladas.

As carcaças foram divididas longitudinalmente em duas meia-carcaças (direita e esquerda). A meia carcaça direita, os componentes não carcaça (cabeça, patas, glândula mamária, demais órgãos, TGI e sangue) e a pele foram congelados separadamente. Posteriormente, a meia carcaça direita foi cortada com auxílio serra de fita, moídos em *cutter* industrial e homogeneizada. Após homogeneização, uma porção de aproximadamente 500 g de cada amostra foi coletada e armazenada em *freezer* à -20 °C para posterior análise. O mesmo procedimento foi realizado para os componentes não carcaça e para a pele. O peso de corpo vazio (PCVZ) foi considerado com o PCJ menos o conteúdo do trato gastrointestinal da

bexiga e da vesícula biliar.

3.2.4 Análises químicas e fluxo de energia

As amostras de alimentos, as sobras e as fezes foram pré-secadas a 55 °C durante 72 horas em estufa de circulação forçada de ar. Em seguida, as amostras foram moídas em tamanho de 1mm em moinho tipo Willey. Depois, elas foram analisadas para a concentração de matéria seca (MS; AOAC, 1990; método 930,15), cinzas (AOAC, 1990; método 924,05), proteína bruta (PB; AOAC, 1990; método 984,13), extrato etéreo (EE; AOAC, 1990; método 920,39) e fibra em detergente neutro (FDN, Van Soest; Robertson; Lewis, 1991) corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}) com alfa-amilase termoestável, sem sulfito de sódio, corrigida para cinza residual (Mertens *et al.*, 2002) e para residuais compostos nitrogenados (Licitra; Hernandez; Van Soest, 1996). Os carboidratos totais foram calculados segundo Sniffen *et al.* (1992). Os carboidratos não fibrosos e os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram calculados segundo Weiss (1993).

A concentração de creatinina foi analisada utilizando o método do picrato alcalino (Henry; Cannon; Winkelman, 1974) em espectrofotômetro. Após a mensuração, a concentração diária de creatinina foi utilizada para estimar o volume urinário por meio da seguinte equação (1):

$$VU = (PC \times ED_{\text{creatinina}}) / C_{\text{creatinina}} \quad (1)$$

onde PC = peso corporal (kg); ED_{creatinina} é a excreção diária de creatinina (mg/L) e C_{creatinina} é a concentração de creatinina (mg/L) na amostra spot. O valor de excreção diária de creatinina utilizado foi de 17,7 (mg/L), de acordo com ROCHA, A. C. (dados não publicados).

A energia bruta (EB) dos alimentos, das sobras, das fezes e da urina foi determinada em bomba calorimétrica adiabática (IKA C200). Os alimentos, as fezes e as sobras foram pré-secados a 55 °C durante 72 horas em estufa de circulação forçada de ar. Em seguida, as amostras foram moídas em peneira de 1 mm em moinho tipo Willey. Em sequência, foram prensadas para formar um *pellet* de aproximadamente 0,500 mg para determinação da energia. Para determinar a EB da urina, as amostras foram pré-secadas a 55°C por 72 horas em estufa de circulação forçada de ar em um béquer de vidro. Posteriormente, as amostras pré-secadas foram inseridas em cápsulas de polietileno e submetidas a combustão obtendo-se a energia total (urina + cápsula). Para corrigir a EB das

capsulas, foi realizada a combustão total de cinco cápsulas, e utilizado o valor médio de EB das cápsulas como fator de correção. A diferença do calor de combustão da energia total mensurada menos a energia bruta da cápsula foi considerada como a EB da urina. A EB dos gases (EBG) foi calculada utilizando a equação (2) preconizada por Blaxter e Clapperton (1965):

$$\text{EBG (Mcal/dia)} = \text{CEB} \times [4,28 + (0,059 \times \text{CDEB})] \quad (2)$$

onde EBG = energia bruta dos gases (Mcal/dia); CEB = consumo de energia bruta (Mcal/dia); CDEB = coeficiente de digestibilidade da energia bruta (%).

Os componentes corporais (carcaça, componentes não carcaça e couro) foram secos a 55 °C durante 72 h em estufa com circulação forçada de ar. Posteriormente, as amostras foram analisadas para conteúdo de matéria seca (AOAC, 1990; método 930,15) e, em seguida, a gordura foi extraída com éter de petróleo em aparelho Soxhlet, durante 12 h (AOAC, 1990; método 920,39). Após extração com éter de petróleo, as amostras foram moídas em moinho de bola e analisadas para cálculo dos teores de proteína bruta (AOAC, 1990; método 984,13) e de cinzas (AOAC, 1990; método 924,05).

3.2.5 Consumo de energia

O consumo de EB (CEB) foi calculado pela diferença entre a energia bruta dos alimentos fornecidos e as sobras, segundo a equação 3:

$$\text{CEB} = (\text{EB volumoso} + \text{EB concentrado}) - \text{EB sobras} \quad (3)$$

onde CEB = consumo de energia bruta (Mcal/dia); EB volumoso = energia bruta do volumoso (Mcal/dia); EB concentrado = energia bruta do concentrado (Mcal/dia) e EB sobras = energia bruta das sobras (Mcal/dia).

O CED foi calculado pela diferença entre o CEB e a EB das fezes (EBF) como a apresentado na equação:

$$\text{CED} = \text{CEB} - \text{EBF} \quad (4)$$

onde CED = consumo de energia digestível (Mcal/dia); CEB = consumo de energia bruta (Mcal/dia); e EBF = energia bruta das fezes (Mcal/dia).

O CEM foi calculado pela diferença entre o CEB e a energia bruta das fezes, da urina e dos gases, como a apresentado na equação:

$$\text{CEM} = \text{CEB} - (\text{EBF} + \text{EBU} + \text{EBG}) \quad (5)$$

onde CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/dia); CEB = consumo de energia bruta (Mcal/dia); EBF = energia bruta das fezes (Mcal/dia); EBU = energia bruta da urina (Mcal/dia); e EBG = energia bruta dos gases (Mcal/dia).

3.2.6 Composição corporal e retenção de energia

Os conteúdos corporais de gordura (CCG) e proteína (CCP) foram determinados de acordo com as suas percentagens no corpo vazio. O conteúdo corporal de energia (CCE) foi obtido de acordo com a equação (6) preconizada pelo ARC (1980):

$$\text{CCE (Mcal)} = 5,6405 (\text{kg, CCP}) + 9,3929 (\text{kg, CCG}) \quad (6)$$

A energia retida (ER) foi obtida como a diferença entre o conteúdo de energia corporal final e inicial no PCVZ. O conteúdo inicial de energia no PCVZ foi estimado partir dos dados do grupo de referência, regredindo o conteúdo de energia corporal em função do PCVZ.

O peso de corpo vazio (PCVZ) e o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) foi determinado pela regressão entre o peso corporal (PC) e o ganho média diário (GMD), respectivamente

$$\text{PCVZ} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{PC}, \quad (7)$$

$$\text{GPCVZ} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{GMD}, \quad (8)$$

em que PCVZ é o peso de corpo vazio (kg), PC é o peso corporal (kg), GPCVZ é o ganho de peso de corpo vazio, GMD é o ganho médio diário e β_0 e β_1 são parâmetros determinados a partir da regressão linear.

3.2.7 Exigências de energia para manutenção e ganho

O requerimento de energia líquida para manutenção (ELm) foi estimado utilizando o modelo exponencial (equação 9), como sugerido por Ferrell e Jenkins (1998).

$$PCI = \beta_0 \times e^{\beta_1 \times CEM} \quad (9)$$

em que PCI é a produção de calor (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), CEM é o consumo de energia metabolizável (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), β_0 e β_1 são parâmetros determinados a partir da regressão exponencial. A EM requerida para manutenção (EMm) foi estimada utilizando o método iterativo, assumindo que EMm equivale ao ponto em que CEM e PCI se igualam na equação (9). A eficiência de utilização da EM para manutenção (*km*) foi calculada como a razão entre ELm/EMm.

O requerimento de energia para ganho (ELg) foi estimado conforme a equação sugerida pelo NRC (1984):

$$ELg = \beta_0 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1} \quad (10)$$

em que ELg é a exigência de energia líquida para o ganho (Mcal/ dia), PCVZ^{0,75} é o peso de corpo vazio metabólico e GPCVZ é o ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), e β_0 e β_1 são parâmetros determinados a partir da regressão não linear

A eficiência de utilização de energia para o ganho (*kg*) foi calculada utilizando o modelo sugerido por NRC (2000) com a regressão entre a energia retida (ER) em função do CEM, seguindo a adaptação recomendada por Galvani *et al.* (2014), retirando-se o intercepto e utilizando o CEM para o ganho (CEMg), onde o CEMg= CEM- EMm, como apresentado na equação (11).

$$ER = \beta_1 \times CEMg, \quad (11)$$

em que ER é a energia retida (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), CEMg é o consumo de energia metabolizável para ganho (Mcal/ Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) e β_1 o parâmetro determinado a partir da regressão linear, sendo considerado o *k_g*.

O particionamento do CEM em ER na forma de gordura e proteína para a estimativa de K_{gord} e K_{prot} foi calculado por meio da equação (12) proposta por Van Es (1980):

$$\text{CEM} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{ERgord} + \beta_2 \times \text{Erprot} \quad (12)$$

onde CEM é o consumo de energia metabolizável em $\text{Mcal/kg}^{0,75} \text{PCVZ/dia}$; ERgord é a energia retida na forma de gordura em $\text{Mcal/kg}^{0,75} \text{PCVZ/dia}$; ERprot é a energia retida na forma de proteína em $\text{Mcal/kg}^{0,75} \text{PCVZ/dia}$ e β_0 , β_1 e β_2 são parâmetros determinados a partir da regressão múltipla linear. As eficiências de ER como gordura e proteína (K_{gord} e K_{prot} , respectivamente) foram calculadas como o inverso dos coeficientes β_1 e β_2 , respectivamente.

Um fator foi gerado a partir da relação entre PCJ/PCVZ para converter os requerimentos expressos em Mcal/kg PCVZ em Mcal/kg PCJ .

3.2.8 Análises estatísticas

O efeito da restrição alimentar, do desempenho e da composição corporal foi mensurado utilizando o PROC GLM no software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), adotando nível de significância de 0,05, com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + R_j + e_{ij}$$

em que: μ é a média geral, R_j o efeito dos níveis alimentares (*ad libitum*, restrição alimentar de 30% ou 60%), e e_{ij} o erro aleatório. Os modelos lineares foram testados usando o procedimento PROC MIXED, e os modelos não lineares com o PROC NLMIXED no software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA).

3.3 Resultados

A restrição alimentar reduziu ($P < 0,05$) PCf, PCJ, GMD, PCVZ e GPCVZ, à medida que o nível de restrição aumentou. A composição química corporal dos animais também foi influenciada pela restrição alimentar. Houve um incremento nos conteúdos de água, proteína e cinzas no corpo vazio conforme houve aumento na restrição alimentar ($P < 0,05$), já o conteúdo de gordura corporal diminuiu. O conteúdo corporal de proteína e água

apresentaram um comportamento decrescente à medida que o PCVZ aumentou, o inverso foi observado para o conteúdo de gordura corporal, e o conteúdo corporal de cinzas permaneceu estável com o aumento do PCVZ.

Os níveis de restrição alimentar também reduziram ($P < 0,05$) o CMS, EBF, EBU, EBG, CEM, ER, PCI, à medida que a restrição alimentar aumentava (Tabela 2). No entanto, em termos percentuais a PCI apresentou maiores valores nos animais restritos a 60%, enquanto a EBF foi mais elevada nos animais ad libitum (Figura 2).

Tabela 2 – Peso corporal, consumo, retenção de energia e composição corporal em fêmeas Santa Inês x Dorper

Itens	<i>Ad libitum</i>		Níveis de restrição (% do <i>ad libitum</i>)		
	0	30%	60%	EPM	P-Valor
Desempenho¹					
PCf (kg)	38,57 ^A	32,65 ^B	22,54 ^C	0,6708	<0,001
PCJ (kg)	35,80 ^A	30,03 ^B	19,88 ^C	0,7047	<0,001
GMD (kg/dia)	0,144 ^A	0,095 ^B	0,023 ^C	0,0038	<0,001
PCVZ (kg)	31,47 ^A	25,31 ^B	16,49 ^C	0,5755	<0,001
GPCVZ (kg/dia)	0,130 ^A	0,080 ^B	0,017 ^C	0,0034	<0,001
Composição corporal					
Água (%PCVZ)	49,22 ^A	55,03 ^B	61,08 ^C	0,7748	<0,001
Proteína (%PCVZ)	14,93 ^A	16,59 ^B	17,18 ^C	0,3123	<0,001
Gordura (%PCVZ)	29,69 ^A	21,64 ^B	15,04 ^C	0,8902	<0,001
Cinzas (%PCVZ)	3,64 ^A	4,23 ^B	4,35 ^C	0,1167	<0,001
Energia (Mcal/ kg PCVZ)	3,63 ^A	2,96 ^B	2,38 ^C	0,0812	<0,001
Consumo e Balanço de Energia²					
CMS (kg)	1,120 ^A	0,754 ^B	0,377 ^C	0,0195	<0,001
CMS (g/kg ^{0,75})	91,06 ^A	66,03 ^B	34,50 ^C	0,0077	<0,001
EBF (Mcal/dia)	1,78 ^A	1,05 ^B	0,468 ^C	0,0555	0,0006
EBU (Mcal/dia)	0,100 ^A	0,071 ^A	0,019 ^B	0,0124	<0,001
EBG (Mcal/dia)	0,416 ^A	0,285 ^B	0,146 ^C	0,084	<0,001
CEM (Mcal/dia)	2,82 ^A	2,00 ^B	1,07 ^C	0,0819	<0,001
ER (Mcal/dia)	0,649 ^A	0,349 ^B	0,088 ^C	0,0200	<0,001
PCL (Mcal/dia)	2,17 ^A	1,65 ^B	0,986 ^C	0,0753	<0,001
CEM (Mcal/kg ^{0,75})	0,270 ^A	0,212 ^B	0,139 ^C	3,248	<0,001
ER (Mcal/kg ^{0,75})	0,062 ^A	0,036 ^B	0,011 ^C	0,0021	<0,001
PCI (Mcal/kg ^{0,75})	0,207 ^A	0,175 ^B	0,128 ^C	0,0072	<0,001

EPM= Erro padrão da média

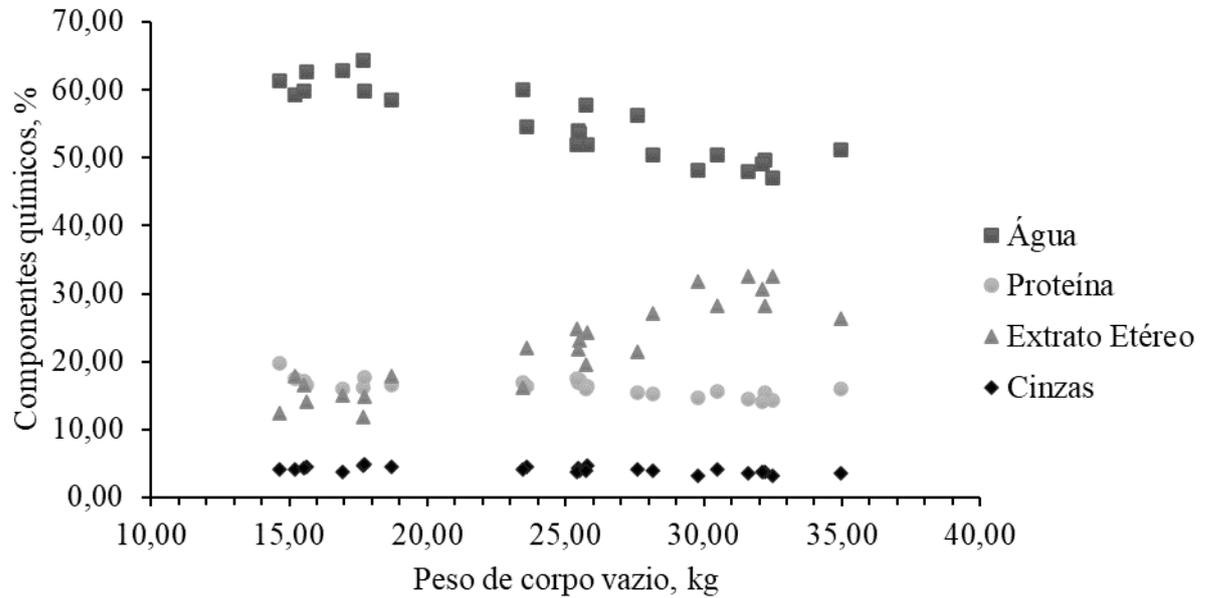
¹PCi= Peso corporal inicial; PCf= peso corporal final; PCJ= Peso corporal de Jejum; GMD= Ganho médio diário; PCVZ= peso de corpo vazio; GPCVZ= Ganho de peso de corpo vazio;

² CMS= consumo de matéria seca; EBF= energia bruta das fezes; EBU= energia bruta da urina; EBG= energia bruta dos gases; CEM= consumo de energia metabolizável; ER= energia retida; PCL=Produção de calor.

^{A,B,C} Médias seguidas por letras diferentes entre os níveis de restrição alimentar diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

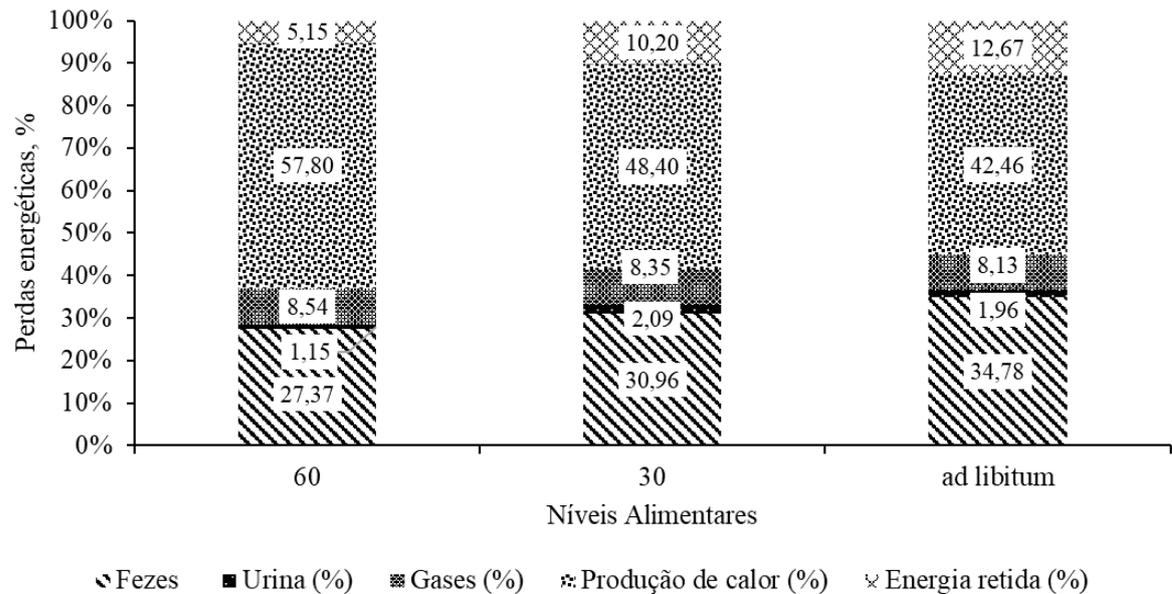
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 1 – Componentes químicos em % do peso de corpo vazio de fêmeas Santa Inês x Dorper submetidas a diferentes níveis de restrição alimentar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Partição da energia em fêmeas Santa Inês x Dorper submetidas a diferentes níveis de restrição alimentar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os animais submetidos à restrição alimentar tiveram um aumento proporcional ($P < 0,05$), em % do PCVZ, da pele, cabeça, sistema respiratório, rins, rúmen e retículo, omaso e abomaso. Já a gordura visceral, a glândula mamária e o fígado diminuíram, proporcionalmente à medida que a restrição alimentar aumentou.

Tabela 3 – Componentes não carcaça, em % de peso de corpo vazio de fêmeas Santa Inês x Dorper

Item	0	30%	60%	EPM	P-Valor
Pele (%PCVZ)	9,18 ^A	9,19 ^A	10,68 ^B	0,4083	0,0241
Coração (%PCVZ)	0,407 ^A	0,438 ^A	0,529 ^B	0,0144	<0,0001
Cabeça (%PCVZ)	3,95 ^A	4,49 ^B	5,89 ^C	0,1037	<0,0001
Sistema Respiratório (%PCVZ) ¹	1,94 ^A	2,26 ^B	2,39 ^B	0,0812	0,0027
Fígado (%PCVZ)	1,41 ^A	1,30 ^B	1,16 ^B	0,0427	0,0017
Rins (%PCVZ)	0,266 ^A	0,285 ^A	0,332 ^B	0,0109	0,0058
Gordura Visceral (%PCVZ)	9,10 ^A	7,35 ^B	3,69 ^C	0,4255	< 0,0001
Rúmen e Retículo (%PCVZ) ²	2,14 ^A	2,24 ^{AB}	2,44 ^B	0,0607	0,0058
Omaso (%PCVZ)	0,253 ^A	0,207 ^{AB}	0,242 ^C	0,0119	0,0334
Abomaso (%PCVZ)	0,442 ^A	0,415 ^A	0,584 ^B	0,0306	0,0017
Intestino Delgado (%PCVZ)	1,24 ^A	1,41 ^{AB}	1,55 ^B	0,0693	0,0173
Intestino Grosso (%PCVZ)	1,23 ^A	1,21 ^B	1,41 ^C	0,0577	0,0414
Glândula Mamária(%PCVZ)	0,875 ^A	0,5701 ^B	0,390 ^C	0,0500	<0,001

Fonte: Elaborada pelo autor.

As regressões lineares entre o PCVZ em função do PC e do GPCVZ em função do GMD apresentaram intercepto e o coeficiente de inclinação significativos ($P < 0,0001$), sendo as equações:

$$\text{PCVZ} = - 4,3597 (\pm 0,540) + 0,9211 (\pm 0,016) \times \text{PC} \quad R^2 = 0,99 \quad \text{RMSE} = 0,566 \quad (13)$$

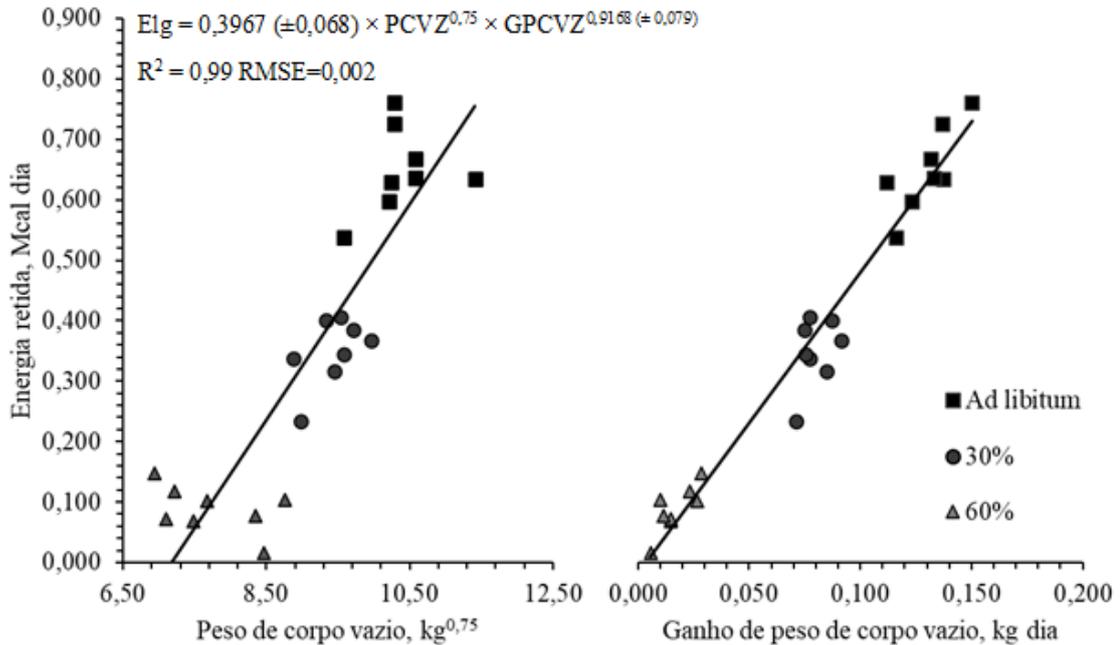
$$\text{GPCVZ} = - 0,0054 (\pm 0,001) + 0,9262 (\pm 0,017) \times \text{GMD} \quad R^2 = 0,99 \quad \text{RMSE} = 0,004 \quad (14)$$

A equação gerada para estimar a energia líquida para o ganho (Elg, Mcal/dia) foi:

$$\text{Elg (Mcal/dia)} = 0,3967 (\pm 0,068) \times \text{PCVZ}^{0,75} \times \text{GPCVZ}^{0,9168 (\pm 0,079)} \quad R^2 = 0,99 \quad \text{RMSE} = 0,002$$

(Figura 3) (15).

Figura 3 – Equação de estimativa da energia retida de ganho em função do ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) e peso de corpo vazio metabólico ($\text{kg}^{0,75}\text{PCVZ}$) de fêmeas Santa Inês x Dorper em crescimento



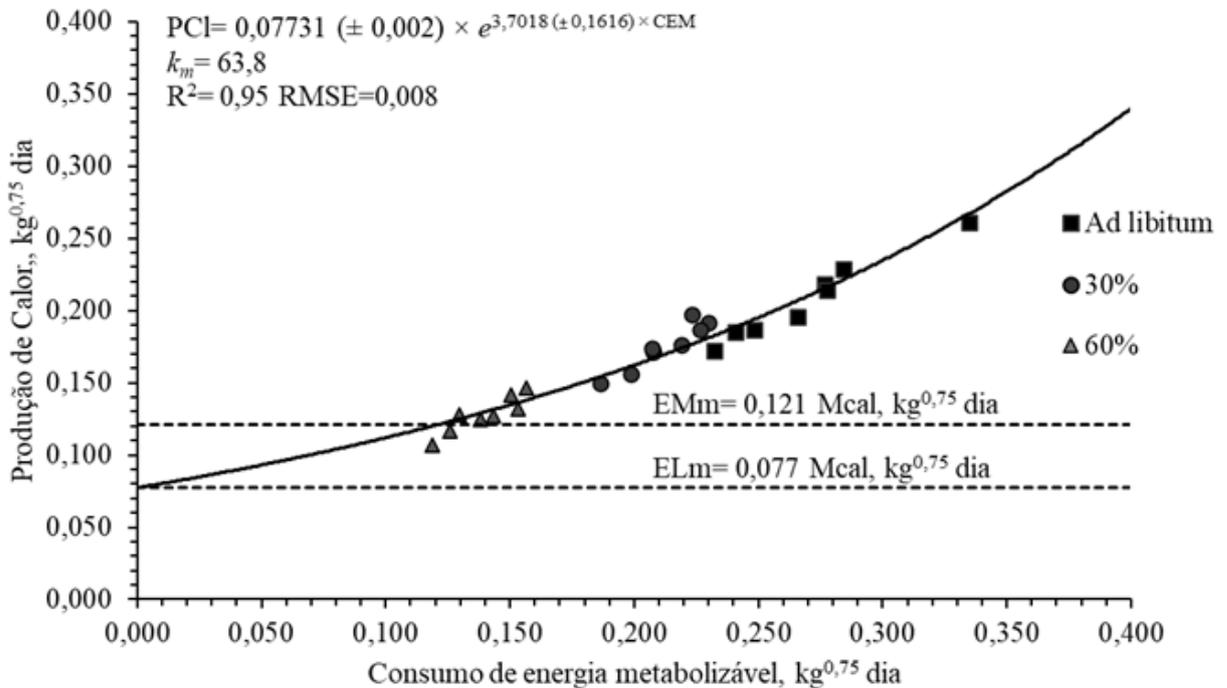
Fonte: Elaborada pelo autor.

A Produção de calor (PCI, $\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$) quando o consumo de energia metabolizável (CEM, $\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$) foi zero (Elm); foi estimada em $0,07731 \text{ Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$ (Figura 4) por meio da equação exponencial (16):

$$PCI (\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}) = 0,07731 (\pm 0,002) \times e^{3,7018 (\pm 0,161) \times CEM} \quad (15)$$

O requerimento de energia metabolizável para a manutenção (EMm, $\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$) foi estimado utilizando o método iterativo, determinando o ponto em que a produção de calor (PCI, $\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$) e o consumo de energia metabolizável (CEM, $\text{Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$) se igualam, assumindo um valor de $0,121 \text{ Mcal kg}^{0,75} \text{PCVZ dia}$. A eficiência de utilização de energia para a manutenção (k_m) foi 63,80 (Figura 4).

Figura 4 – Relação entre a produção de calor (Mcal $\text{kg}^{0,75}$ PCVZ dia) e o consumo de energia metabolizável (Mcal $\text{kg}^{0,75}$ PCVZ dia) de fêmeas Santa Inês x Dorper submetidas a diferentes níveis de restrição alimentar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a estimativa da eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (k_g), foi realizada uma regressão entre a energia retida (ER, Mcal $\text{kg}^{0,75}$ PCVZ dia) e o consumo de energia metabolizável para o ganho (CEMg, Mcal $\text{kg}^{0,75}$ PCVZ dia), sendo o k_g considerado o coeficiente de inclinação da equação (17) (Figura 5).

$$\text{ER (Mcal } \text{kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia)} = 0,00681 (\pm 0,002) + 0,35 (\pm 0,0028) \times \text{CEMg} \quad (16)$$

$$R^2 = 0,87 \quad \text{RMSE} = 0,01$$

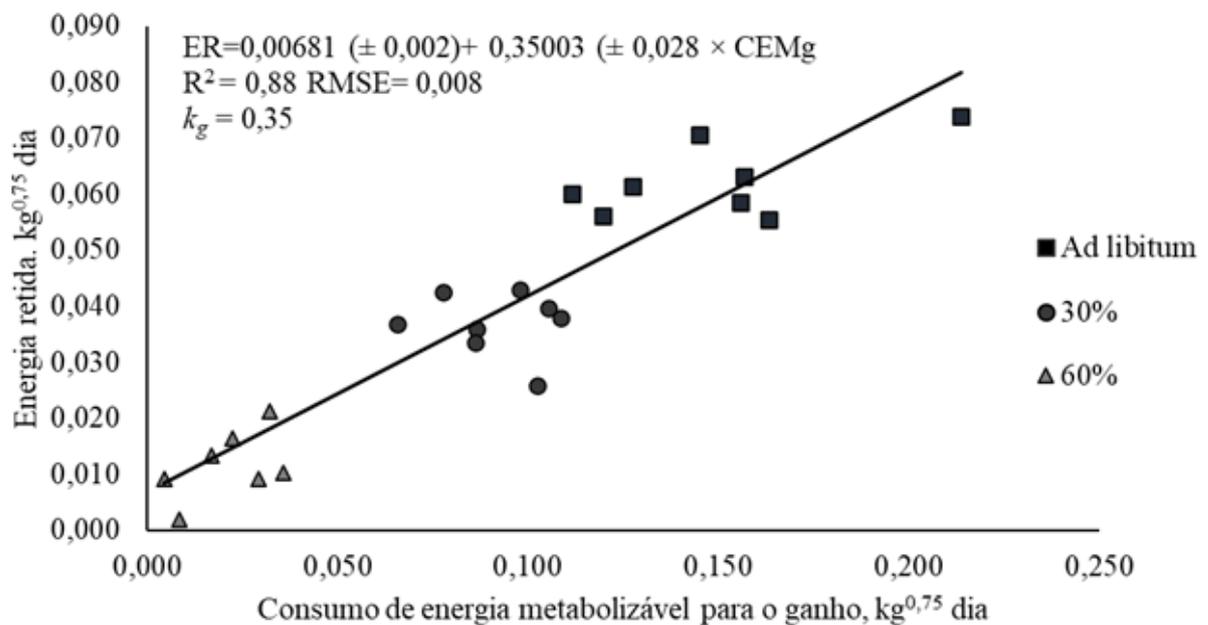
Considerando a equação (17), o k_g foi estimado em 0,35 ou 35%. O particionamento do CEM em ER na forma de gordura e proteína foi estimado pela seguinte equação (18):

$$\text{CEM (Mcal } \text{kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia)} = 125 (\pm 0,012) + 1,40 (\pm 0,504) + 6,71 (\pm 2,95) R^2 = 0,83$$

$$\text{RMSE} = 0,06 \quad (18)$$

Os valores inversos de 6,71 e 1,40 foram considerados as eficiências parciais para a deposição de gordura (k_{gord}) e proteína (k_{prot}) foram estimadas como 0,71 e 0,15, respectivamente.

Figura 5 – Relação entre a energia retida ($\text{Mcal kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia}$) e o consumo de energia metabolizável para o ganho ($\text{Mcal kg}^{0,75} \text{ PCVZ dia}$) de fêmeas Santa Inês x Dorper submetidas a diferentes níveis de restrição alimentar



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando uma ovelha de 30 kg de peso corporal com um ganho médio diário de 150 gramas, obteve-se um requerimento líquido de energia para a manutenção de 0,819 Mcal/dia e o requerimento líquido para o ganho de 0,664 Mcal/dia (Tabela 4).

Tabela 4 – Exigências de energia de fêmeas Santa Inês x Dorper

PC	PCVZ	GMD	GPCVZ	Elm	EMm	ELg	EMg	EMT	ED	NDT
20	14,06	0,100	0,087	0,559	0,879	0,308	0,879	1,758	2,07	0,469
20	14,06	0,150	0,134	0,559	0,879	0,455	1,299	2,178	2,56	0,581
20	14,06	0,200	0,180	0,559	0,879	0,598	1,707	2,586	3,04	0,690
20	14,06	0,250	0,226	0,559	0,879	0,737	2,106	2,985	3,51	0,797
25	18,67	0,100	0,087	0,692	1,087	0,381	1,088	2,174	2,56	0,580
25	18,67	0,150	0,134	0,692	1,087	0,562	1,607	2,694	3,17	0,719
25	18,67	0,200	0,180	0,692	1,087	0,739	2,112	3,198	3,76	0,853
25	18,67	0,250	0,226	0,692	1,087	0,912	2,605	3,692	4,34	0,985
30	23,27	0,100	0,087	0,816	1,282	0,449	1,283	2,565	3,02	0,685
30	23,27	0,150	0,134	0,816	1,282	0,664	1,896	3,178	3,74	0,848
30	23,27	0,200	0,180	0,816	1,282	0,872	2,491	3,773	4,44	1,007
30	23,27	0,250	0,226	0,816	1,282	1,076	3,074	4,356	5,12	1,162
35	27,88	0,100	0,087	0,934	1,468	0,514	1,469	2,937	3,46	0,784
35	27,88	0,150	0,134	0,934	1,468	0,760	2,171	3,639	4,28	0,971
35	27,88	0,200	0,180	0,934	1,468	0,998	2,853	4,321	5,08	1,153
35	27,88	0,250	0,226	0,934	1,468	1,232	3,519	4,987	5,87	1,331
40	32,48	0,100	0,087	1,048	1,646	0,577	1,648	3,294	3,88	0,879
40	32,48	0,150	0,134	1,048	1,646	0,852	2,435	4,081	4,80	1,089
40	32,48	0,200	0,180	1,048	1,646	1,120	3,199	4,846	5,70	1,293
40	32,48	0,250	0,226	1,048	1,646	1,381	3,947	5,593	6,58	1,492

PC = peso corporal; GMD = Ganho médio diário; PCVZ= peso de corpo vazio; GPCVZ= Ganho de peso de corpo vazio; ELm= energia líquida para a manutenção; EMm = energia metabolizável para a manutenção; EMg = energia metabolizável para o ganho; EMT= Energia metabolizável total; ED = energia digestível; NDT = nutrientes digestíveis totais

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4 Discussão

Uma quantidade significativa de estudos realizados com ovinos deslanados no Brasil tem contribuído para o melhor entendimento dos requerimentos nutricionais desses animais. No entanto, levando em consideração o elevado potencial do uso de cruzamento industrial no sistema de produção de ovinos, ainda são escassos os estudos para a determinação dos requerimentos nutricionais de animais cruzados com raças especializadas para a produção de carne. Além disso, a grande maioria dos estudos gerados possuem dados oriundos de machos inteiros, uma parte menos significativa com animais castrados e muito escassa no que diz respeito a fêmeas, sendo uma necessidade eminente.

O consumo de nutrientes é uma das principais variáveis para a determinação dos requerimentos nutricionais, uma vez que a ingestão de nutrientes irá determinar a resposta do animal (Van Soest, 1994). Nesse sentido, determinar o CMS é essencial para os modelos de exigências nutricionais (BR-CORTE, 2016). O CMS dos animais do *ad libitum* foi cerca de 34% maior que a recomendação do NRC (2007). Esse fato pode ser explicado pela diferença entre os genótipos deslanados utilizados nesse estudo e genótipos lanados utilizados na estimativa do modelo preconizado pelo NRC (2007). De maneira geral, animais deslanados tendem a apresentar maiores CMS do que as predições preconizadas para animais lanados (Cabral *et al.*, 20008; Oliveira *et al.*, 2020). Esse fato pode ser explicado pelas diferenças entre a qualidade das dietas de regiões tropicais e temperadas, uma vez que NRC (2007) considera o fator digestibilidade nas suas estimativas (> 0,80 ou 80% de digestibilidade), valor superior às condições de clima tropical (Oliveira *et al.*, 2020).

Em termos percentuais, animais alimentados com o nível de restrição de 60% apresentaram uma PCI 10% maior se comparados com o nível *ad libitum*. Esse fato decorre devido animais restritos a 60% terem apresentado uma retenção de energia próxima a zero (manutenção) sendo a maior parte da energia ingerida perdida na forma de calor (Carvalho *et al.*, 2018), ou seja, são animais ineficientes do ponto de vista energético. Em contrapartida, animais *ad libitum* possuem um maior CMS e, conseqüentemente, maior consumo de energia que se traduz em uma maior retenção energética, depositada principalmente na forma de tecidos, ou seja, são animais eficientes, do ponto de vista energético (Van Der Haar; St-Pierre, 2006). Embora o aumento do CMS aumente eficiência produtiva, tende a diminuir a eficiência digestiva, já que a digestibilidade é reduzida com o aumento na taxa de passagem e a diminuição na taxa de retenção (Tyrrell; Moe, 1975), o que explica a maior porcentagem de energia perdida nas fezes nos animais *ad libitum*.

Os conteúdos corporais de água, proteína e gordura são influenciados pela idade (Coleman *et al.*, 1993), sexo (BR-CORTE, 2016), genótipo (Almeida *et al.*, 2020), peso a maturidade e nível nutricional (NRC, 2007). Quando o ganho de peso corporal não é limitado pela energia da dieta, a medida que o peso de corpo vazio aumenta, os animais tentam a depositar maiores quantidades de gordura no ganho, enquanto a proteína tende a estabilização até que o animal atinja a maturidade química (NASEM, 2016).

A determinação dos tamanho relativo dos órgãos internos é de grande importância para os estudos de exigências nutricionais, uma vez que as variações que ocorrem nas proporções desses órgãos influenciam os requerimentos líquidos para a manutenção (Fontenele *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2020). Os tecidos viscerais (principalmente o fígado e o trato gastrointestinal) consomem cerca de 50% da energia destinada para a manutenção, devido a participarem ativamente de processos de digestão e metabolismo, além de possuir um elevado *turnover* proteico (Baldwin *et al.*, 1980). A redução do tamanho relativo do fígado paralelamente ao aumento dos níveis de restrição alimentar está relacionado a menor ingestão de nutrientes e energia, uma vez que esse órgão participa ativamente do metabolismo, por exemplo, a captação de propionato no sistema portal para a síntese de glicose (Van Soest, 1994), a captação de amônia e síntese de ureia e o metabolismo de aminoácidos (Lobley; Milano; Van Der Walt, 2000).

A exigência líquida de energia para a manutenção (Elm) pode ser definida como a quantidade de energia necessária para o atendimento do metabolismo basal do animal, como a manutenção da temperatura corporal, respiração, manutenção de complexos enzimáticos e atividades voluntárias como caminhar e ruminar (Garrett; Meyer; Lofgreen, 1959). A Elm pode ser entendida como toda a produção de calor de um animal em absoluto jejum (CSIRO, 2007). A Elm estimada nesse estudo foi 66,49 kcal/kg^{0,75} PCJ, valor semelhante aos requerimentos não ajustados recomendados por CSIRO (2007) e NRC (2007) de 66 e 62 kcal/kg^{0,75} PCJ, respectivamente.

O NRC (2007) e o CSIRO (2007) consideram que machos inteiros possuem um requerimento de Elm 15% maior se comparados a fêmeas. Esse ajuste é baseado nas diferenças entre a composição corporal dessas classes sexuais, considerando que machos inteiros possuem um maior conteúdo de proteína no corpo vazio, enquanto que fêmeas possuem maior quantidade de tecido adiposo (Paulino *et al.*, 2009), sendo que o tecido proteico possui uma maior taxa metabólica devido ao *turnover* proteico e, conseqüentemente, demanda maior quantidade de energia (Baldwin *et al.*, 1980). Fêmeas possuem um peso a maturidade menor, se comparado aos machos (Almeida *et al.*, 2016) e, conseqüentemente,

possuem uma maior quantidade de tecido adiposo depositado no corpo (Berg; Butterfield, 1976). No estudo de Galvani *et al.* (2014), avaliando machos inteiros Santa Inês x Dorper, a Elm foi estimada em 71,6 kcal/kg^{0,75} PCJ, valor 7,68% superior ao reportado nesse estudo, resultado que colabora com as diferenças entre a composição corporal e o requerimento de energia para a manutenção.

Neste estudo, a EMm foi estimada como 104 kcal/kg^{0,75} PCJ, próximo ao valor recomendado por Pereira *et al.* (2018) de 110 kcal/kg^{0,75} PCJ. A eficiência de utilização de energia para a manutenção (k_m) foi estimada nesse estudo como 63,8%, semelhante ao valor de 64,4% recomendado por Cannas *et al.* (2004) e também adotado pelo NRC (2007). Garrett (1980) reportou que as variações que ocorrem na k_m são explicadas pelas diferenças existentes entre raças e classes sexuais no que diz respeito ao *turnover* proteico, o que indica que esses animais provavelmente possuem taxas semelhantes de *turnover* proteico comparados aos genótipos lanados utilizados nesse sistema, o que explicaria a k_m similar.

A energia líquida para o ganho (Elg) é toda energia retida que é depositada na forma de gordura ou proteína no corpo vazio dos animais (Garrett; Meyer; Lofgreen, 1959). Nesse sentido, a composição do GPCVZ torna-se o principal determinante na estimativa da Elg (NRC, 2007). A Elg estimada nesse estudo de uma ovelha de 40 kg com um GMD de 200 gramas foi de 1,120 Mcal /dia, valor 24% superior ao valor reportado por Mendes *et al.* (2021b) trabalhando com machos inteiros Santa Inês x Dorper. Fêmeas possuem menores pesos a maturidade se compradas a machos inteiros (Almeida *et al.*, 2016), conseqüentemente depositam maiores quantidades de gordura no GPCVZ mais precocemente, o que explicaria o maior requerimento de energia para o ganho. Considerando modelo de predição de ELg do NRC (2007) que utilizada o grau de maturidade como fator de ajuste, e adotando um peso a maturidade de 55 kg conforme sugerido por Lôbo *et al.* (2006), encontramos que esse modelo subestima os requerimentos em aproximadamente 10%. Esse fato pode ser explicado devido ao peso a maturidade ser influenciado pelo genótipo (CSIRO, 2007), o que pode explicar as diferenças entre esse estudo e o modelo utilizado pelo NRC (2007).

A k_g é normalmente estimada como a relação entre a energia retida e o consumo de energia metabolizável para o ganho (Willians; Jenkins, 2003), que nesse estudo assumiu um valor de 0,35 ou 35%, porém, a utilização de um valor fixo de k_g , sem considerar as variações que ocorrem nas taxas de ganho de peso em relação à deposição de gordura e proteína no corpo dos animais pode levar a uma subestimativa ou superestimativa dos valores de k_g (Valadares Filho; Chizzotti; Paulino, 2009). Utilizando as eficiências parciais para a deposição de gordura (k_{gord}) e proteína (k_{prot}), que foram estimadas como 0,71 e 0,15,

respectivamente e aplicando ao modelo $k_g = (K_{gord} \times K_{prot}) / [K_{prot} + (\%ER_{prot} / 100) \times (K_{gord} - K_{prot})]$, sugerido por Tedeschi, Fox e Guioy (2004), foram estimados valores médios variando de 0,33 até 0,50. Essa variação que ocorreu na estimativa de k_g pode ser explicada principalmente pelas eficiência de deposição de energia na forma de gordura ou proteína (Valadares Filho; Chizzotti; Paulino, 2009). Energeticamente, a deposição de gordura é mais eficiente do que a deposição de proteína (NRC, 2007; CSIRO, 2007), dessa maneira, quanto maior a proporção de energia retida na forma de proteína no ganho de peso, menor será a eficiência de utilização (Tedeschi; Fox; Guioy, 2004). Sendo assim, a k_g é mais bem predita com base nas eficiências parciais de retenção de energia como gordura e proteína e a composição do ganho de peso deveria ser considerada na predição.

3.5 Conclusão

Fêmeas Dorper x Santa Inês apresentam exigências de energia para a manutenção semelhantes aos valores sugeridos pelos Comitês Internacionais, no entanto, as fêmeas requerem menos energia para depositar tecidos e crescer. Sendo assim, recomenda-se os valores de 0,07731 Mcal kg^{0,75} PCVZ dia de energia líquida para a manutenção, 0,121 Mcal kg^{0,75} PCVZ dia de energia metabolizável para a manutenção e eficiência de utilização de energia para a manutenção (k_m) de 63,80%. Com relação aos requerimentos líquidos de energia para ganho, recomenda-se equação.

4 PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM OVINOS DESLANADOS

RESUMO: Objetivou-se estabelecer equações para predição do consumo de água de ovinos deslanados criados em áreas tropicais. O banco de dados utilizado para estimar os parâmetros da equação foi oriundo de oito estudos contendo 185 observações individuais de ovinos deslanados com três classes sexuais (120 machos não castrados, 22 machos castrados e 43 fêmeas), em sistema de confinamento. O procedimento *Stepwise* foi utilizado para determinar quais variáveis seriam incluídas no modelo de predição, usando uma regressão de mínimos quadrados ordinários (OLS) com significância de $P < 0,05$. Foi utilizado um modelo de coeficiente aleatório, considerando o estudo como efeito aleatório e incluindo a possibilidade de covariância entre o intercepto e a inclinação. A classe sexual foi considerada como efeito fixo e testada nos parâmetros do modelo e quando as diferenças foram significativas ($P < 0,05$), uma equação foi ajustada para cada classe sexual. Para o procedimento de validação do modelo, a comparação entre os valores preditos e observados foi realizada utilizando o software *Model Evaluation System* (MES). A análise *Stepwise* indicou que o consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) e o teor de matéria seca nas dietas (MS, %) foram as variáveis significativas ($P < 0,001$) para predição do CA em ovinos deslanados. A classe sexual não afetou ($P = 0,3340$) o intercepto e a inclinação do modelo de predição de CA de ovinos deslanados, sendo uma única equação gerada: $CA \text{ (kg/dia)} = 0,1282 (\pm 0,5861) + 2,4186 (\pm 0,5842) \times CMS$ ($R^2=0,70$; $MSE= 0,1631$; $AIC = 297,6$). O valor médio estimado de CA para ovinos deslanados foi de 2,80 kg/dia enquanto que o valor médio observado 2,68 kg/dia. A validação indicou que o modelo sugerido prediz com acurácia a estimativa de CA em ovinos deslanados ($P > 0,05$ para o intercepto) e ($\beta_0= 0$) e inclinação ($\beta_1= 1$). Os parâmetros CCC e Cb foram próximos de 1, indicando a eficiência e a reprodutibilidade do modelo proposto. Em conclusão, o modelo de predição permite estimar com precisão o consumo de água em ovinos deslanados criados em áreas tropicais; assim, recomenda-se o modelo desenvolvido nesse estudo.

Palavras-chave: áreas quentes; consumo de água; modelos de predição; ovinos.

PREDICTION OF WATER INTAKE IN HAIR SHEEP

ABSTRACT: The aim of this study was to establish equations to predict water consumption of hair sheep raised in tropical areas. The data set used to estimate the equation parameters derived from eight studies containing 185 individual observations of hair sheep with three sex classes (120 non-castrated males, 22 castrated males and 43 females) in a confinement system. The Stepwise procedure was used to determine which variables would be included in the prediction model, using an ordinary least squares (OLS) regression with significance of $P < 0.05$. A random coefficient model was used, considering the study as a random effect and including the possibility of covariance between the intercept and the slope. The sex class was considered as a fixed effect and tested in the model parameters and when the differences were significant ($P < 0.05$), an equation was adjusted for each sex class. For the model validation procedure, the comparison between the predicted and observed values was performed using the Model Evaluation System (MES) software. Stepwise analysis indicated that dry matter intake (DMI, kg/day) and dry matter content in the diets (DM, %) were the significant variables ($P < 0.001$) for predicting WI in hair sheep. Sexual class did not affect ($P = 0.3340$) the intercept and slope of the CA prediction model for hair sheep, and a single equation was generated: $WI \text{ (kg/day)} = 0.1282 (\pm 0.5861) + 2.4186 (\pm 0.5842) \times DMI$ ($R^2 = 0.70$; $MSE = 0.1631$; $AIC = 297.6$). The estimated mean WI value for hair sheep was 2.80 kg/day, while the observed mean value was 2.68 kg/day. The validation indicated that the suggested model accurately predicts the estimate of WI in hair sheep ($P > 0.05$ for the intercept) and ($\beta_0 = 0$) and slope ($\beta_1 = 1$). The parameters CCC and Cb were close to 1, indicating the efficiency and reproducibility of the proposed model. In conclusion, the prediction model allows for the accurate estimation of water consumption in hair sheep raised in topical areas, therefore the model developed in this study is recommended.

Keywords: hair lambs; prediction models; warm areas; water intake.

4.1 Introdução

Os mais recentes Comitês de Exigências Nutricionais para pequenos ruminantes foram publicados por volta de 2007 (NRC, 2007; CSIRO, 2007), sendo as recomendações de requerimentos nutricionais mais importantes para ovinos no mundo. No entanto, é necessário continuar o refinamento sobre a utilização dos nutrientes assim como das predições dos requerimentos nutricionais para efeito de aumento da eficiência dos sistemas de produção, maximização da economia de recursos, entre outros. A sustentabilidade depende das necessidades de cada país ou região, sendo a água um recurso crítico (Menendez III *et al.*, 2023). A água é o nutriente mais importante para os animais e suas propriedades físicas a tornam crítica para inúmeras funções metabólicas (NASEM, 2016) atuando como principal constituinte do corpo do animal, correspondendo a 0,5-0,8 do seu peso corporal, dependendo da idade e do grau de maturidade (CSIRO, 2007). As principais funções da água incluem a eliminação de resíduos da digestão e do metabolismo, regulação da pressão osmótica do sangue, como componente do leite, saliva e fluidos digestivos, produtos da concepção e composição corporal.

As exigências de água são atendidas pelo consumo voluntário, pela água contida nos alimentos e pela água formada no corpo do animal devido à oxidação metabólica (ARC, 1980). Contudo, o consumo voluntário de água pode ser a melhor aproximação às exigências totais de água (NRC, 2007). As exigências de água são influenciadas por vários fatores, incluindo taxa e composição do ganho, gestação, lactação, atividade, tipo de dieta e temperatura ambiente.

Os Comitês Internacionais adotaram as equações de predição do consumo de água dos estudos da Forbes (1968) e Luke (1987), respectivamente. No entanto, em áreas tropicais, as necessidades de água para ovinos deslanados podem ser diferentes das sugeridas pelos Comitês porque o consumo de água é afetado por múltiplos fatores, tais como genótipo, clima, dieta, idade e estágio fisiológico (CSIRO, 2007), e uma atualização contínua de conhecimentos é essencial. Nesse contexto, em diferentes cenários climáticos, há necessidade de otimizar a produção animal sustentável para atender às demandas globais (Steinfeld; Gerber, 2010). À medida que os recursos mundiais, como alimentos, terra e água, se tornam limitados ou mesmo escassos em algumas regiões do mundo, a determinação precisa dos nutrientes exigidos pelos pequenos ruminantes domesticados é importante para garantir o desperdício mínimo destes recursos (Tedeschi; Cannas; Fox, 2010), portanto, informações quantitativas sobre o consumo de água dos animais de produção é tão importante quanto a de

outros nutrientes, especialmente em áreas onde este recurso é limitado (Winchester; Morris, 1956).

A hipótese é que os modelos de predição de consumo de água adotados pelos Comitês Internacionais podem não ser adequados para atender ovinos deslanados criados em regiões tropicais e semiáridas. Neste contexto, objetivou-se estabelecer modelos para predição do consumo de água de ovinos deslanados criados em regiões tropicais e semiáridas.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Declaração de ética

No banco de dados de Perazzo *et al.* (2017); Pereira *et al.* (2018a); Morais *et al.* (2021); Silva *et al.* (2021a); Soares *et al.* (2022) e Santos (2023) não necessitaram da aprovação de um Comitê de Ética no Uso de Animais porque os dados foram coletados de fontes previamente publicadas. Para os estudos de Herbster, C. J. L. (dados não publicados) e Brito Neto (2024), todos os procedimentos realizados com animais seguiram as orientações da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Federal Universidade do Ceará (protocolo Nº 3381260719), Fortaleza, Brasil.

4.2.2 Critérios de inclusão dos estudos

Foram incluídos no banco de dados apenas estudos realizados com ovinos deslanados criados em regiões tropicais e semiáridas que continham pelo menos uma das seguintes informações individuais: consumo de água (CA), peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), teor de matéria seca das dietas (MS), consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT), temperatura média e umidade relativa. O banco de dados utilizado para estimar os parâmetros da equação foi então originado de oito estudos, 185 observações individuais de ovinos deslanados com três classes sexuais (120 machos não castrados, 22 machos castrados e 43 fêmeas) Tabela 1. A relação volumoso: concentrado no banco de dados foi de $538,1 \pm 157$ (g/kg MS): $461,8 \pm 157$ (g/kg MS), e o teor de matéria seca (MS) médio das dietas foi de 730 ± 260 g/kg (variando de 260 a 910 g/kg de MS). A análise descritiva das variáveis utilizadas para desenvolver modelo é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 – Descrição dos estudos utilizados para a predição do consumo de água em ovinos deslanados

Estudos	N	Raça	Classe sexual	Volumoso	Temperatura	Umidade Relativa
Perazzo <i>et al.</i> (2017)	27	SPRD ²	Machos Não Castrados	Feno de Tifton	-	-
	3	Morada Nova	Machos Não Castrados			
Pereira <i>et al.</i> (2018)	4	Morada Nova	Machos Castrados	Feno de Tifton	28,83	69,42
	4	Morada Nova	Fêmeas			
Brito Neto (2024)	24	Santa Inês	Fêmeas	Feno de Tifton	27,72	71,95
Herbster, C. J. L.	16	Dorper x Santa Inês	Fêmeas	Feno de Tifton	27,92	69,58
Morais <i>et al.</i> (2021)	33	Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Tifton	29,05	67,32
Silva <i>et al.</i> (2021)	27	SPRD ²	Machos Não Castrados	Palma / Feno de Buffel	-	-
Soares <i>et al.</i> (2022)	18	SPRD ²	Machos Não Castrados	Palma / Feno de Tifton	-	-
Santos (2023)	29	Santa Inês	Machos Não Castrados	Silagem de Sorgo	-	-

SPRD= Sem padrão racial definido.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos dados utilizados para desenvolvimento de modelos de predição do consumo de água de ovinos deslanados

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
PC (kg)					
Machos Não Castrados	93	27,20	2,98	18,15	36,73
Machos Castrados	22	31,23	6,60	19,64	41
Fêmeas	43	23,83	3,86	17,64	32,10
CMS (kg)					
Machos Não Castrados	120	1,12	0,188	0,636	1,69
Machos Castrados	22	1,07	0,166	0,681	1,40
Fêmeas	43	0,841	0,162	0,615	1,23
MS (%)					
Machos Não Castrados	120	65,6	25,8	25,9	90,8
Machos Castrados	22	82,4	11,6	63,9	90,8
Fêmeas	43	90,3	0,3	90	90,8
CA (kg/day)					
Machos Não Castrados	120	2,88	0,954	0,675	5,52
Machos Castrados	22	2,62	0,792	1,40	4,12
Fêmeas	43	2,13	0,720	1,20	3,90
CEM (Mcal/dia)					
Machos Não Castrados	93	2,75	0,53	1,64	4,22
Machos Castrados	21	2,88	0,68	1,59	4,18
Fêmeas	43	2,19	0,39	1,51	3,11
ITU					
Machos Não Castrados	37	79,56	0,008	79,54	79,57
Machos Castrados	4	79,54	0,00	79,54	79,54
Fêmeas	43	78,33	0,392	78,20	79,54

PC= Peso corporal; CMS= Consumo de matéria seca; MS= % de matéria seca; CA= Consumo de água; CEM= Consumo de energia metabolizável; ITU= Índice de Temperatura e Umidade.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3 Consumo de matéria seca, água e variáveis climáticas

Em todos os estudos, os animais foram alimentados com dietas na forma de ração totalmente misturada (RTM, kg/dia) *ad libitum*, duas vezes ao dia (8:00 h e 16:00 h), permitindo 10 a 20% de sobras. Todos os dias, antes do fornecimento da RTM, as sobras de cada animal foram coletadas e pesadas para controle diário. O CMS (kg/dia) foi determinado pela diferença entre a quantidade de RTM (kg/dia) ofertada e a quantidade de sobras (kg/dia) coletadas.

Em todos os estudos a água foi fornecida *ad libitum* individualmente em baldes de volume conhecido. Duas vezes ao dia (8:00 h e 16:00 h) o volume de água residual presente nos baldes era pesado em balança digital. Para mensurar as perdas de água por evaporação, foram distribuídos próximo as baias de confinamento baldes contendo um peso conhecido. Após 24 horas, os baldes eram pesados novamente, sendo a diferença de peso considerada perdas por evaporação. O CA (kg/dia) foi então determinado pela diferença entre a quantidade de água fornecida e a soma da água residual nos baldes e das perdas diárias de água por evaporação, conforme Equação (1):

$$CA \text{ (kg/dia)} = AF - (AR + PAE) \text{ (1)}$$

Onde, CA= consumo de água (kg/dia), AF= Água fornecida (kg/dia), AR= Água residual (kg/dia) e PAE = perdas de água por evaporação (kg/dia).

Nos estudos de Herbster, C. J. L. (dados não publicados) e Brito Neto (2024), as variáveis climáticas foram coletadas por meio da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada a 600m do confinamento experimental. Para o estudo de Pereira *et al.* (2018), esses dados foram coletados por *data loggers* instalados no confinamento experimental. No estudo de Morais *et al.* (2021), essas variáveis foram obtidas através de um termômetro higrômetro digital com sensor externo.

O índice temperatura-umidade (ITU) foi calculado em todos os estudos, de acordo com Kelly e Bond (1971):

$$ITU = Tar - 0,55 * (1 - UR) * (Tar - 58) \text{ (2)}$$

Onde Tar = é a temperatura do ar (°F) e UR corresponde à umidade relativa do ar em decimais. Os estudos de Perazzo *et al.* (2017), Silva *et al.* (2021), Soares *et al.* (2022) e

Santos (2023) não foram incluídos para o cálculo do ITU por ausência de informações sobre temperatura do ar e umidade relativa.

4.2.4 Ensaio de Digestibilidade e consumo de energia metabolizável

Nos estudos de Herbster, C. J. L. (dados não publicados) e Brito Neto (2024), o ensaio de digestibilidade foi realizado indiretamente utilizando fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) para estimar a excreção fecal (Casali *et al.*, 2008). Amostras de fezes foram coletadas diretamente da ampola retal dos animais a cada 15 dias, durante três dias consecutivos em horários específicos (08:00 h no primeiro dia, 12:00 h no segundo dia e 04:00 h no terceiro dia) segundo a recomendação de Costa *et al.* (2013). Esse procedimento foi realizado durante um total de 21 dias no estudo de Herbster, C. J. L. (dados não publicados) e 30 dias no estudo de Brito Neto (2024).

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram calculados conforme equação sugerida por Weiss (1993). Em todos os estudos, o consumo de energia metabolizável (CEM, Mcal/dia) foi estimado a partir do CNDT (kg/dia), considerando que 1 kg de NDT contém 4,409 Mcal de energia digestível e que a energia metabolizável corresponde a 85% da energia digestível (Brito Neto *et al.*, 2023). Mais informações sobre estimativa de digestibilidade de dietas e NDT podem ser encontradas nos estudos publicados anteriormente (Perazzo *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018; Morais *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; Soares *et al.*, 2022; Santos, 2023).

4.2.5 Análises químicas

Para os estudos de Herbster, C. J. L. (dados não publicados) e Brito Neto (2024), amostras de volumoso, concentrado, sobras e fezes foram pré-secadas a 55 °C por 72 horas em estufa de circulação forçada de ar. Em seguida, foram moídas até o tamanho de partículas de 1 mm e analisadas conforme as metodologias recomendadas pelo AOAC (1990) para concentração de matéria seca (MS; método 967,03), proteína bruta (PB; método 981,10), extrato etéreo (EE; método 920,29) e fibra em detergente neutro (FDN) com alfa-amilase termoestável e sem sulfito de sódio corrigido para cinza residual (Mertens *et al.*, 2002) e para compostos nitrogenados residuais (Licitra; Hernandez; Van Soest, 1996). Os carboidratos totais foram calculados de acordo com Sniffen *et al.* (1992) e os carboidratos não fibrosos foram calculados de acordo com Weiss (1993).

4.2.6 Análises estatísticas

Para o desenvolvimento do modelo de predição do consumo de água (CA), as variáveis peso corporal (PC, kg), consumo de matéria seca (CMS kg/dia), consumo de energia metabolizável (Mcal/dia), teor de matéria seca das dietas (MS %) e o índice temperatura-umidade (ITU) foram adotadas como possíveis variáveis preditoras. Foi realizada análise de correlação de Pearson para avaliar a relação entre o consumo de água e as demais variáveis adotadas como possíveis preditores. Na segunda etapa, as variáveis que apresentaram correlação significativa foram submetidas ao procedimento Stepwise utilizando uma regressão de mínimos quadrados ordinários com significância de $P < 0,05$ para determinar quais variáveis seriam incluídas no modelo de predição.

Após a escolha das variáveis preditoras, foi utilizado um modelo de coeficiente aleatório, considerando estudo como efeito aleatório e incluindo a possibilidade de covariância entre o intercepto e o coeficiente de inclinação (ST-Pierre, 2001). A classe sexual foi considerada como efeito fixo e testada nos parâmetros do modelo e quando as diferenças foram significativas ($P < 0,05$), uma equação foi ajustada para cada classe sexual. O efeito do sexo foi testado no intercepto e no coeficiente de inclinação dos modelos. Foram testadas 17 matrizes de covariância e a seleção das matrizes foi baseada no critério de informação de Akaike (AIC). Observações individuais com resíduos de Student superiores a 2,5 ou inferiores a -2,5 foram consideradas “outliers” (Tedeschi, 2006) e excluídas do banco de dados. Além disso, quando a distância de Cook foi maior que 1, o estudo foi removido do banco de dados para aquela análise específica (Cook, 1979). Para todos os procedimentos estatísticos foi adotado nível de significância de 0,05 para efeitos fixos e 0,20 para efeitos aleatórios. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o procedimento MIXED do software de análise estatística SAS.

4.2.7 Validação do Modelo

Para validação do modelo gerado foi utilizado um banco de dados independente com os mesmos critérios de inclusão estabelecidos para este estudo (Tabela 3). A comparação entre os valores preditos e observados foi realizada por meio do *software* Model Evaluation System (MES) (Tedeschi, 2006). Para validar o modelo, os valores de consumo de água preditos e observados foram comparados utilizando o seguinte modelo de regressão:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X \quad (3)$$

onde Y = valores observados; X = valores preditos; β_0 = intercepto; e β_1 = inclinação. A regressão foi avaliada com as seguintes hipóteses estatísticas (Neter *et al.*, 1996): $H_0: \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$; H_a : não H_0 . O coeficiente de inclinação e o intercepto do modelo foram avaliados separadamente para identificar possíveis erros nas equações. Após a validação, os erros de predição do modelo foram determinados usando o quadrado médio do erro de predição estimado (MSEP) e seus componentes (viés quadrático, SB; viés sistemático, MaF; e erros aleatórios, MoF (Bibby; Toutenburg, 1977)). A raiz quadrada do erro médio de predição (RMSEP) foi utilizada para avaliar a precisão do modelo, sendo que quanto menores os valores do RMSEP melhor será a precisão do modelo. O coeficiente de correlação de concordância (CCC) e a precisão do modelo (Cb) foram utilizados para avaliar a exatidão e precisão do modelo (Deyo; Diehr; Patrick, 1991; Nickerson, 1997; Liao, 2003), e quando os valores obtidos são próximos de 1 indicam maior precisão.

O mesmo procedimento de validação e determinação dos erros de predição do modelo desenvolvido nesse estudo foi realizado utilizando os modelos de Forbes (1968) e Luke (1987). Foi utilizada também uma análise gráfica para definir o melhor modelo de predição para ovinos deslanados.

Tabela 3 – Descrição dos estudos utilizados para a validação do modelo de predição do consumo de água em ovinos deslanados

Estudos	N	Raça	Classe sexual	Volumoso	Temperatura °C	Umidade Relativa
Neiva <i>et al.</i> , 2004	40	Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Capim-Elefante	29,57	79
Costa <i>et al.</i> , 2012	36	Santa Inês	Machos Não Castrados	Palma	26	-
Souza <i>et al.</i> , 2013	21	Santa Inês	Machos Castrados	Silagem de Capim Buffel	28,54	-
Souza <i>et al.</i> , 2018	20	Santa Inês	Machos Não Castrados	Silagem de Sisal/ Feno de Tifton	26	-
Araújo <i>et al.</i> , 2019	32	Morada Nova	Machos Não Castrados	Feno de Capim Buffel	27	-
Albuquerque <i>et al.</i> , 2020	16	Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Capim Buffel	27,65	-
Araújo <i>et al.</i> , 2021	35	Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Tifton/ Resíduo de cervejaria		
Mendes <i>et al.</i> , 2021	10	Dorper x Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Tifton	27,90	80
Silva <i>et al.</i> , 2021	40	SPRD	Machos Não Castrados	Silagem de Palma ²	29,47	-
Souza <i>et al.</i> , 2022	8	Santa Inês	Machos Não Castrados	Feno de Tifton	27,65	60,52
Nobre <i>et al.</i> , 2023	6	Santa Inês	Machos Não Castrados	Silagem de Palma / Feno de Tifton	26,56	

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Resultados

A correlação entre CA e CEM, PC, CMS, MS e ITU foi significativa ($P < 0,001$) assumindo valores de 0,35, 0,37, 0,54, 0,43 e 0,57, respectivamente. A análise Stepwise indicou que o CMS e a % MS foram as variáveis significativas ($P < 0,001$) para predição do CA em ovinos deslanados.

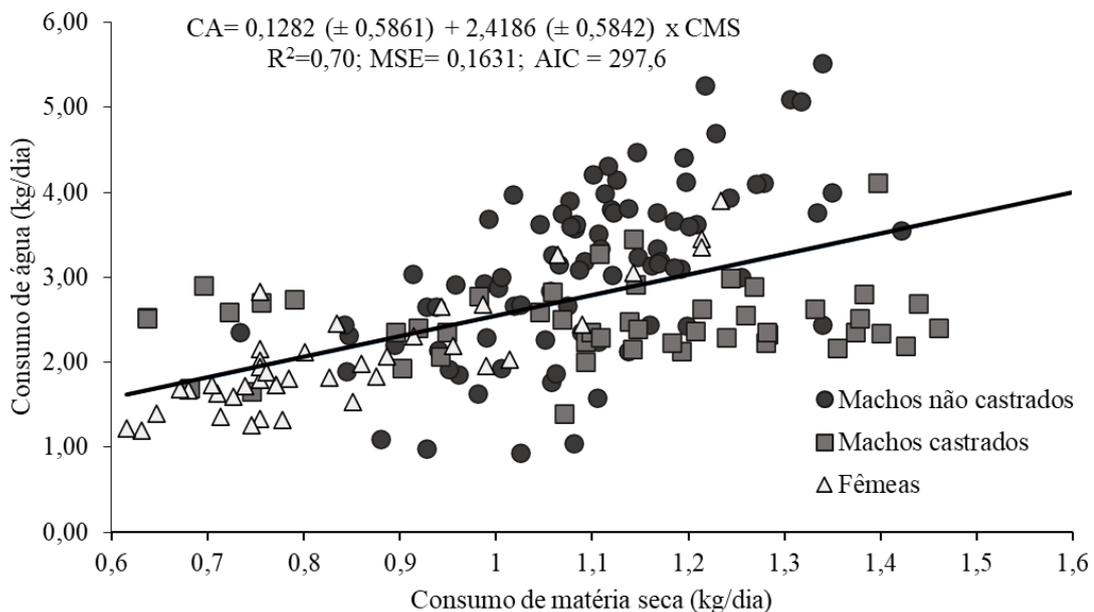
A classe sexual não afetou ($P=0,3340$) o intercepto e o coeficiente de inclinação do modelo de predição do consumo de água em ovinos deslanados. Além disso, a variável MS não apresentou efeito significativo ($P=0,3496$) no modelo de predição. Portanto, apenas o CMS apresentou efeito significativo ($P=0,0063$) no CA sendo gerada uma única equação para todas as classes sexuais (Figura 1):

$$CA = 0,1282 (\pm 0,5861) + 2,4186 (\pm 0,5842) \times CMS \quad (4)$$

$$R^2 = 0,70; RMSE = 0,1631; AIC = 297,6$$

onde CA é o consumo de água (kg/dia) e CMS corresponde ao consumo de matéria seca (kg/dia).

Figura 1 – Relação entre o consumo de água (kg/dia) e o consumo de matéria seca (kg/dia) em ovinos deslanados criados em regiões tropicais. CA (consumo de água), CMS (consumo de matéria seca)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados da validação indicaram que o modelo proposto neste estudo estima com precisão o consumo de água de ovinos deslanados [($P > 0,05$ para o intercepto ($\beta_0 = 0$) e inclinação ($\beta_1 = 1$)] (Tabela 4). O consumo de água médio predito pelo modelo foi de 2,80 kg/dia, enquanto o consumo observado foi de 2,68 kg/dia. Os resultados da validação também indicaram que os modelos recomendados por Forbes (1968) e Luke (1987) não estimam com precisão o consumo de água para ovinos deslanados [($P < 0,05$ para o intercepto ($\beta_0 = 0$) e inclinação ($\beta_1 = 1$)] (Tabela 4). Além disso, o particionamento do RMSE demonstrou baixa participação de SB e MaF, demonstrando a precisão do modelo desenvolvido nesse estudo.

A avaliação gráfica dos modelos indicou um bom ajuste do modelo sugerido neste estudo (Figura 2). A equação sugerida por Forbes (1968) superestimou o consumo de água enquanto a equação de Luke (1987) subestimou. Considerando a distância entre os valores preditos e observados, os resíduos das predições foram plotados em função do consumo de água observado e são apresentados na Figura 2. A avaliação visual do comportamento dos resíduos reforça a hipótese da falta de ajuste dos modelos de Forbes (1968) e Luke (1987) para a predição do consumo de água de ovinos deslanados.

Tabela 4 – Parâmetros de regressão e acurácia entre as predições do consumo de água e valores observados de consumo de água para ovinos deslançados em condições tropicais

Item	Observado	Predito ¹	Predito ²	Predito ³
Média	2,68	2,80	3,28	2,36
Desvio Padrão	0,842	0,605	0,965	0,311
Mínimo	1,40	1,85	1,76	2,03
Máximo	4,90	4,09	5,34	3,11
Parâmetros da Regressão				
Intercepto	-	0,936	1,39	2,44
P-valor	-	0,1369	0,004	0,033
Coefficiente de Inclinação	-	0,6145	0,388	0,095
P- Valor	-	0,084	0,00006	0,059
CCC	-	0,415	0,359	0,021
Cb	-	0,932	0,807	0,582
MSEP				
SB	-	0,018	0,373	0,096
MaF	-	0,051	0,338	0,070
MoF	-	0,554	0,563	0,689
RMSEP		0,789	1,12	0,929

CCC= Coeficiente de correlação de concordância; Cb = acurácia do modelo; MSEP= Erro quadrático médio de predição; SB = viés quadrático; MaF= viés sistemático; MoF= erros aleatórios; RMSEP= raiz quadrada do erro médio de predição.

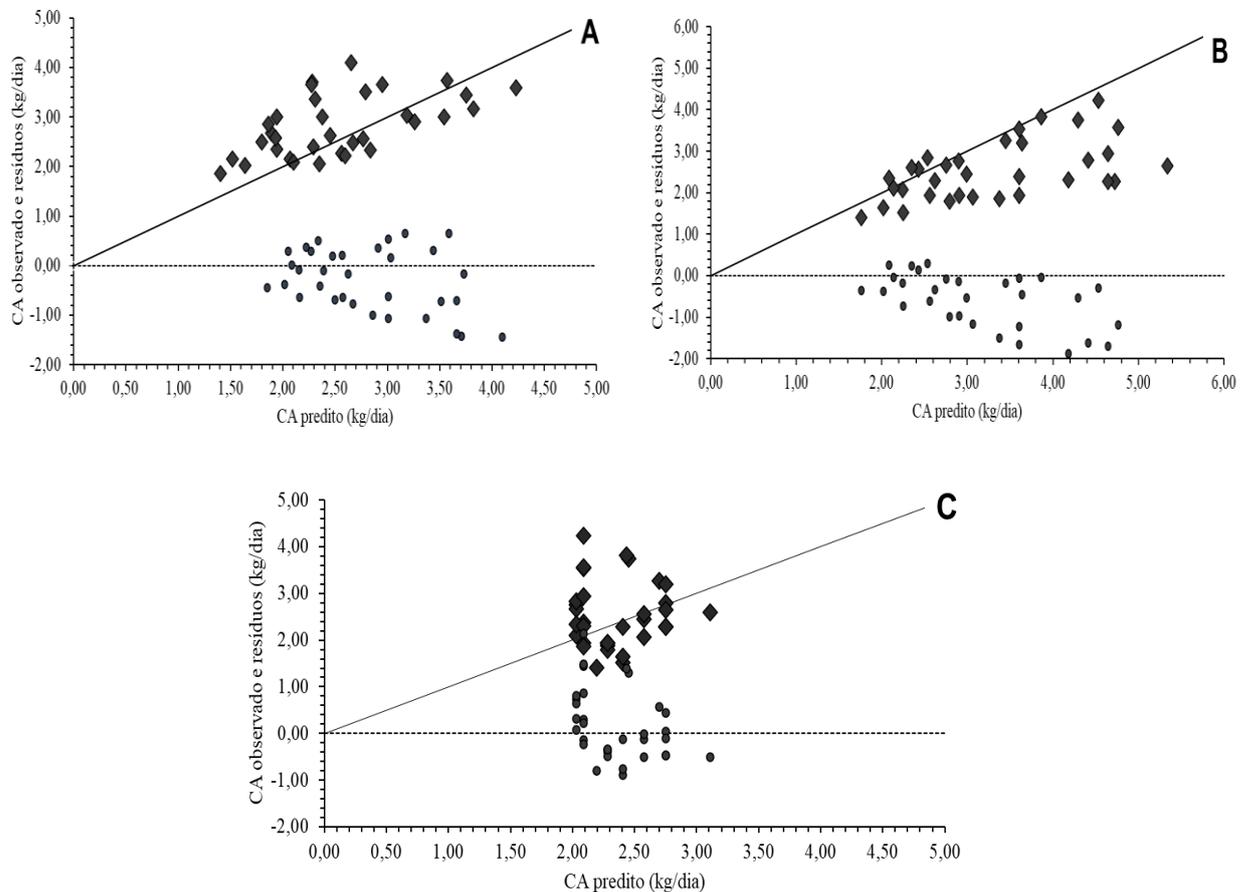
¹ Valores preditos pelo modelo gerado nesse estudo.

² Valores preditos de acordo com o modelo gerado por Forbes (1968).

³ Valores preditos de acordo com o modelo gerado por Luke (1987).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Relação entre consumo de água observado e preditos de ovinos deslanados criados em condições tropicais e semiáridas e distribuição dos resíduos de predição utilizando o modelo proposto neste estudo (A), e os modelos de Forbes (1968; B) e Luke (1987; C)



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Discussão

A água, do ponto de vista da manutenção da vida, é o principal nutriente na nutrição animal, embora a consumo de água raramente seja mensurado. Em regiões onde o fornecimento de água é limitado, informações quantitativas sobre o consumo de água são tão importantes como informações sobre as outras necessidades nutricionais dos animais.

O modelo de predição do consumo de água sugerido pela Forbes (1968), que utiliza o CMS como variável preditora, é adotado pelos Comitês Internacionais para ovinos (ARC, 1980; NRC, 2007), exceto CSIRO (2007), que sugere o modelo recomendado por Luke (1989), que utiliza a temperatura máxima como variável preditora. No entanto, nenhum desses modelos foi preciso quando usado para prever o consumo de água em ovinos deslanados. Isto pode ser explicado pelas diferenças entre os genótipos e as condições

ambientais em que os modelos foram gerados. Além disso, os animais compensam dentro de limites as variações na temperatura ambiente efetiva, alterando a ingestão de alimentos, o metabolismo e a dissipação de calor, que, por sua vez, alteram a distribuição da energia dietética pelo animal. O resultado líquido é uma eficiência energética alterada, o que pode exigir mudanças na dieta na relação entre nutrientes e energia. Além disso, de acordo com a análise comparativa no MES, a equação do presente estudo apresenta melhor exatidão e precisão, pois o CCC e Cb estão mais próximos de 1, logo, esses parâmetros indicam a eficiência e a reprodutibilidade da equação testada (Tedeschi, 2006).

O consumo de matéria seca, quando isolados os efeitos das variáveis climáticas (Ahlberg *et al.*, 2018), influencia diretamente o consumo de água (BR-CORTE, 2023), sendo esta variável adotada em diversos modelos de previsão do consumo de água, tanto para bovinos (Zanetti *et al.*, 2019) quanto para ovinos e caprinos (Forbes, 1968; Gigar-Reverdin; Gihad, 1991). Essa relação entre CMS e consumo de água explica o fato do modelo Forbes (1968) apresentar uma superestimação no consumo de água de ovinos deslanados em aproximadamente 22% quando são comparados os valores médios observados e preditos. Vários fatores podem influenciar o CMS, como peso corporal, grupo genético e variáveis climáticas (BR-CORTE, 2023) e, conseqüentemente, o consumo de água. A equação de Forbes (1968) foi gerada a partir de dados de 7 ovelhas mestiças (Border Leicester x Cheviot) e 2 ovelhas Speckle-faced Welsh com peso corporal médio de 75 kg, que podem ser classificadas como raças grandes (CSIRO, 2007). Animais com maiores pesos corporais normalmente apresentam maior CMS (Van Soest, 1994) e, conseqüentemente, maior consumo de água, o que poderia contribuir para a superestimação deste modelo, uma vez que ovelhas depiladas geralmente apresentam menores pesos corporais (Sousa; Lôbo; Morais, 2003) podem ser classificadas como raças médias e pequenas, e, conseqüentemente, com menor consumo de água. Além disso, o tamanho corporal menor é uma adaptação a um clima mais quente. O tamanho corporal afeta a biologia térmica e energética dos ruminantes, modificando a exigência de energia para manutenção e produção (Mitchell *et al.*, 2018), e assim variações no tamanho corporal influenciam a resiliência às mudanças ambientais (Martin; Mead; Barboza, 2018).

O teor de MS da dieta (%) também influencia o consumo de água. Ginger-Reverdin e Gihad (1991) utilizaram o CMS e a MS das dietas para prever o consumo de água de cabras leiteiras, demonstrando, a partir deste modelo, que dietas com baixos níveis de MS tenderiam a reduzir o consumo de água desses animais. Neste estudo, o teor de MS das dietas não influenciou o consumo de água, embora tenha apresentado correlação positiva e

significativa. Esse fato pode ser explicado pelos estudos que compõem o banco de dados serem compostos principalmente por dietas com feno de Capim Tifton (*Cynodon dactylon*) e Buffel (*Cenchrus ciliaris*) com alto teor de MS (> 900 g/kg MS), que podem ter suprimiu o efeito do MS da dieta sobre o consumo de água.

O peso corporal e o consumo de energia metabolizável também apresentaram correlação significativa com o consumo de água, porém, após o procedimento *stepwise*, essas variáveis não foram estatisticamente significativas e não foram incluídas no modelo de predição. Isso pode ser atribuído à alta correlação entre peso corporal e consumo de matéria (Van Soest, 1994). Em relação ao consumo de energia metabolizável, muitos autores relacionam o metabolismo energético com o consumo de água (Silanikove, 1989) mas essa relação ainda parece pouco clara (NRC, 2007).

A equação sugerida por Luke (1987) adotada pelo CSIRO (2007) subestimou o consumo de água de ovinos deslanados em aproximadamente 14%, se compararmos os valores observados com os valores preditos. Além disso, o modelo Luke (1989) utilizou principalmente animais Merino australianos em seu banco de dados. Esses animais apresentam alta tolerância à exposição prolongada ao estresse térmico, mantendo padrões de homeostase mesmo quando expostos a altas temperaturas (Alhidary *et al.*, 2012), principalmente devido à parte externa de sua lã ser composta por pequenos blocos escuros (Macfarlane; Howard; Morris, 1966), fazendo com que a superfície de sua lã fique aquecida e o calor da superfície irradia grande parte da energia solar (Macfarlane; Howard; Morris, 1956), o que ajuda a controlar a temperatura corporal e reduz o efeito do estresse térmico nesses animais. Ovinos deslanados podem parecer mais tolerantes ao estresse térmico do que ovinos lanados, porém a tolerância não é determinada apenas pelo tipo de pelagem (lã/pêlo). Em vez disso, a adaptação a condições edafoclimáticas pouco favoráveis inclui modificações em vias críticas, como o metabolismo energético e o tamanho do corpo, dita a capacidade do animal de suportar o stress térmico.

Ovinos criados em cenários adversos tendem a apresentar modificações fisiológicas, como a redução das taxas metabólicas para se adaptarem a essas áreas (Silainikove, 2000; Chedid *et al.*, 2014). Quando os animais são expostos a uma temperatura ambiente que excede a temperatura crítica superior da zona termo neutra (ou seja, estresse térmico), ocorrem alterações fisiológicas, principalmente na secreção dos hormônios tireoidianos (Starling *et al.*, 2005). A diminuição da atividade tireoidiana promove redução do metabolismo e, conseqüentemente, redução da produção de calor e do estresse térmico (Pereira *et al.*, 2018b). Além disso, os bancos de dados utilizados nesse estudo, tanto o que

originou os modelos quanto o utilizado no procedimento de validação, possuem temperaturas médias em torno de 28 °C, inferiores às temperaturas nas quais a equação de Luke (1987) foi gerada, e isso também pode ter contribuído para a falta de precisão desse modelo.

A água corporal tem importante função termorreguladora, mantendo a homeotermia, principalmente em animais criados em áreas quentes (CSIRO, 2007). Os modelos de predição do consumo de água incluem variáveis climáticas como radiação solar, temperatura média e ITU em suas estimativas, devido a essa função termorreguladora da água (Ahlberg *et al.*, 2018; Zanetti *et al.*, 2019; Arias; Mader, 2011). O ITU é um índice gerado a partir de dois elementos climáticos (temperatura e umidade), sendo uma variável utilizada em modelos de predição de consumo de água (Marai *et al.*, 2007), devido ao papel da água no controle da temperatura corporal. Em nosso estudo, esse índice apresentou correlação muito significativa com o consumo de água (0,57), porém não foi possível adotar essa variável devido à baixa variabilidade do THI nos diferentes estudos, assumindo valores médios de 78, e à falta dessa informação em quatro estudos. Portanto, são necessárias mais informações para incluir esta variável no modelo de predição.

4.5 Conclusão

Esse estudo traz uma contribuição significativa porque o modelo proposto pode ajudar a prever o consumo de água com precisão e exatidão em ovinos deslanados criados em áreas quentes e melhorar o uso de água em sistemas de produção tropicais e semiáridos. Sendo assim, recomenda-se o modelo $CA=0,1282 (\pm 0,5861) + 2,4186 (\pm 0,5842) \times CMS$ para a predição do consumo de água em ovinos deslanados.

REFERÊNCIAS

- AGANGA, A. A.; UMUNNA, N. N.; OYEDIPE, E. O.; OKOH, P. N. Breed differences in water metabolism and body composition of sheep and goats. **The Journal of Agricultural Science**, 113(2), 255-258, 1989.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC, **Energy and Protein Requirements of Ruminants**, Wallingford: CAB International, 1993.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL - ARC. **The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock**. 2. ed. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980.
- AHLBERG, C. M. *et al.* Environmental effects on water intake and water intake prediction in growing beef cattle. **Journal of animal science**, v. 96, p. 4368-4384, 2018.
- ALBUQUERQUE, Í. R. R. *et al.* Saline water intake effects performance, digestibility, nitrogen and water balance of feedlot lambs. **Animal Production Science**, v. 60, p. 1591-1597, 2020.
- ALHIDARY, I. A. *et al.* Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 212-220, 2012.
- ALMEIDA, A. K. *et al.* Using body composition to determine weight at maturity of male and female Saanen goats. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 2564-2571, 2016.
- ALVES, J.M.; ARAÚJO, G.G.L.; PORTO, E.P. Jacilene Castro, J. M. C.; Souza, L. C. Feno de ervasal (*Atriplex nummularia* Lindl.) e palma-forrageira (*Opuntia ficus* Mill.) em dietas para caprinos e ovinos. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 9, p. 43-52, 2007.
- ANDRADE, M. E. B. *et al.* Visceral organ growth patterns in Saanen goats. **Journal of Agricultural Science**, v. 157, 721-742, 2020.
- ARAÚJO, G. G. L. *et al.* Supply of water with salinity levels for Morada Nova sheep. **Small Ruminant Research**. v. 171, p. 73-76, 2019.
- ARAÚJO, G. G. L. *et al.* Water and small ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.326-336, 2010.
- ARAÚJO, M. S. D. *et al.* Medidas biométricas e na carcaça de borregos Santa Inês alimentados com resíduo de cervejaria desidratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, 2021.
- ARIAS, R. A.; MADER, T. L. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. **Journal of Animal Science** v. 89, p. 245-251, 2011.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15. ed. Washington: AOAC, 1990.
- BALDWIN, R. L.; YANG, Y. T.; CRIST, K.; GRICHTING, G. Theoretical model of

ruminant adipose tissue metabolism in relation to the whole animal. **Federation proceedings** v. 35, p. 2314-2318, 1976.

BALDWIN, R.L. *et al.* Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. **Journal of Animal Science**, v. 51, p. 1416-1428, 1980.

BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth**. Sydney; Sydney University Press, 1976.

BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and Improved Estimation in Linear Models**, 1st Ed, Berlin: John Wiley & Sons, 1977.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**, v. 19, p. 511-522, 1965.

BRITO NETO, A. S. *et al.* Feed energy utilization by hair sheep: Does the 0.82 conversion factor of digestible to metabolizable energy need to be revised? **Journal Agricultural Science**. v. 161, p. 734–742, 2023.

CABRAL, L. S. *et al.* Estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 09, p. 529-542, 2008.

CANNAS, A. *et al.* A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 149-169, 2004.

CARVALHO, P. H. A. *et al.* Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. **Plos One**, v. 13, p. e0202088, 2018.

CASALI, A. O. *et al.* Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 335-342, 2008.

CHAY-CANUL, A. J. *et al.* Energy requirements of hair sheep in the tropical regions of Latin America. Review. **Revista Mexicana de Ciências Pecuarias**, v. 7, p. 105-125, 2016.

CHEDID, M. *et al.* Water stress in sheep raised under arid conditions. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 94, p. 243-257, 2014.

CHIKWANHA, O. C. *et al.* Impact of water scarcity on dryland sheep meat production and quality: Key recovery and resilience strategies. **Journal of Arid Environments**, v. 190, p. 104511.

CHURCH, D. C.; SMITH, G. E.; FONTENOT, J. P.; RAISON, A. T. 1974. Water metabolism and requirements. *In*: CHURCH, D. C. **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants**. Corvallis: O&B Books, Corvallis.

COELHO DA SILVA, J.F., LEÃO, M.I. **Fundamentos de Nutrição dos Ruminantes**. Piracicaba: Livroceres, 1979. 380p.

COLEMAN, S. W.; EVANS, B. C.; GUENTHER, J. J. Body and carcass composition of

Angus and Charolais steers as affected by age and nutrition. **Journal of Animal Science**, v. 71, p. 86-95, 1993.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION - CSIRO, **Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants**, Melbourne: CSIRO Publishing, 2007, 270.

COOK, R. D. Influential observations in linear regression. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, p. 169-174, 1979.

COSTA, M, R, G, F. *et al.* Body composition and net energy and protein requirements of Morada Nova lambs, **Small Ruminant Research**, v, 114, p, 206-213, 2013.

COSTA, R. G. *et al.* Consumo de agua de ovinos alimentados con diferentes niveles de nopal (*Opuntia ficus indica*) en Brasil. **Archivos de Zootecnia**. v. 61, p. 301-304, 2012.

COSTA, R. G. *et al.* Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, v. 82(1), p. 62-65, 2009.

DEARBORN, L. *et al.* Hair Sheep in the America's: Economic Traits and Sustainable Production. **Frontiers in Animal Science**, v. 4, p. 1195680, 2023.

DEYO, R.A., DIEHR, P., PATRICK, D.L. Reproducibility and responsiveness of health status measures: statistics and strategies for evaluation. **Controlled Clinical Trials**. v. 12, p. 142-158, 1991.

FERRELL, C. L.; JENKINS, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: I. Angus, Belgian Blue, Hereford, and Piedmontese sires. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 637-646, 1998.

FERRELL, C.L. Energy Metabolism. *In*: CHURCH, D. C. (editor). **The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition**. Florida: Waveland Press, 1993.

FIGUEIREDO, G. C. *et al.* Morphofunctional characteristics of Dorper sheep crossed with Brazilian native breeds. **Small Ruminant Research**, v.170, p.143-148, 2019.

FONTENELE, R. M. *et al.* Níveis de energia metabolizável em rações de ovinos Santa Inês: peso dos órgãos internos e do trato digestório. **Semina: Ciências Agrárias**, 31, 1095-1104, 2011.

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

GALVANI, D. B. *et al.* O. Energy efficiency of growing ram lambs fed concentrate-based diets with different roughage sources. **Journal of Animal Science**, 92, 250-263, 2014.

GARRETT, W. N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. **Journal of Animal Science**, v. 51, p. 1434-1440, 1980.

- GARRETT, W. N.; MEYER, J. H.; LOFGREEN, G. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. **Journal of Animal Science**, v. 18, p.528-547, 1959.
- GIGAR-REVERDIN, S., GIHAD, E.A. Water metabolism and intake in goats, in: Morand-Fehr, The Netherlands: **Goat Nutrition**. Pudoc, Wageningen, 1991. p. 37-46.
- GRAHAM, N. McC. Variation in energy and nitrogen utilization by sheep between weaning and maturity. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 31, p. 335-345, 1980.
- HENRY, R. J.; CANNON, D. C.; WINKELMAN, W. J. **Clinical biochemistry of domestic animals**. 2. ed. Hagerstown: Harper and Row, 1974.
- HERBSTER, C. J. L. *et al.* Protein requirements of hair sheep raised in warm areas: a multi-study approach. **Scientific Reports**, v. 12, p. 18154, 2022.
- HERBSTER, C. J. L. *et al.* Understanding the effect of sex on energy requirements of hair sheep. **Animal**, v. 18, p. 101071, 2024.
- HOEKSTRA, A. Y. How sustainable is Europe's water footprint. **Water & wastewater International**, v. 26, p. 24-26, 2014.
- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE – INRA. **Alimentation des Ruminants**. France: Editions Quae, Versailles, 2018.
- KELLY, C. F.; BOND, T. E. Bioclimatic factors and their measurements. *In: A guide to environmental research on animals*. Washington: national academy of sciences. p. 71-92, 1971.
- KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2017.
- LAWES, J. B.; GILBERT, J. H. On the composition of oxen, sheep, and pigs, and of their increase whilst fattening. **Journal of the Royal Agricultural Society of England**, v.21, p.50,1861.
- LIAO, J. J. Z. An improved concordance correlation coefficient. **Pharmaceutical Statistics**. v. 2, p. 253-261, 2003.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v. 57, 347-358, 1996.
- LOBLEY, G. E.; MILANO, G. D.; WALT, J. G. The liver: integrator of nitrogen metabolism. *In: Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction*. Wallingford UK: CABI, 2000. p. 149-168.
- LÔBO, R. N. B. *et al.* Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 1012-1019, 2006.

LOFGREEN, G. P.; GARRETT, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of animal Science**, v. 27, p. 793-806, 1968.

LÓPEZ-CARLOS, M. A.; RAMÍREZ, R. G.; AGUILERA-SOTO, J. I.; ARÉCHIGA, C. F.; RODRÍGUEZ, H. Size and shape analyses in hair sheep ram lambs and its relationships with growth performance. **Livestock Science**, v. 131, p. 203-211, 2010.

LUKE, G. J. Consumption of water by livestock. **Technical Report-Western Australian Department of Agriculture Australia**, v. 60, 1987.

MALHADO, C. H. M. *et al.* Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. **Small Ruminant Research**, 84, 16-21, 2009.

MARCONDES, M. I.; TEDESCHI, L. O.; VALADARES FILHO, S. C.; GIONBELLI, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4887-4898, 2013.

MARCONDES, M. I. *et al.* Using growth and body composition to determine weight at maturity in Nellore cattle. **Animal Production Science**, v. 56, p. 1121-1129, 2016.

MARTIN, J. M.; MEAD, J. I.; BARBOZA, P. S. Bison body size and climate change. **Ecology and Evolution**, v. 8, p. 4564-4574, 2018.

MCDOWELL, R.E; WELDY, J.R. Water Exchange of Cattle under Heat Stress. **Biometeorology**, v.2, p.414-424, 1967.

MCMANUS, C. M. *et al.* Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? **Theriogenology**, v. 155, p. 157-167, 2020.

MENDES, M. S. *et al.* Maintenance and growth requirements in male Dorper× Santa Ines lambs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, p. 676956, 2021b.

MENDES, M.S. *et al.* Determination of the mature weight of intact male hair sheep. **The Journal of Agricultural Science**, v. 159, p. 757-761, 2021.

MENENDEZ III, H.M. *et al.* Using dynamic modelling to enhance the assessment of the beef water footprint. **Animal**, v. 17, p. 100808, 2023.

MERTENS, D. R. *et al.* Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feed with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 1217-1240, 2002.

MERTENS, D. R. *et al.* Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feed with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 1217-1240, 2002.

MITCHELL, D. *et al.* Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of

mammals to climate change. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, p. 956-973, 2018.

MORAIS, J. S. *et al.* C. Effect of dietary replacing of corn grain with the blend of residues from the candy industry and corn gluten feed on performance of growing lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 282, p. 115130, 2021.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE - NASEM. **Nutrient Requirements of Beef Cattle** 8th ed. Washington: National Academies Press, 2016.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 7.ed. Washington: National Academies Press, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**, 6th. Washington: National Academies Press, 1984.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6th rev. ed. Washington: National Academies Press, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Sheep**. 6. ed. Washington: National Academies Press, 1985.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids**, Washington; National Academies Press, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients Requirements of Beef Cattle**. 7. ed. Washington: National Academies Press, 1996.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Subcommittee on Environmental Stress. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals**. Washington: National Academies Press, 1981.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC . **Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms**. Washington: National Academies Press, 1981a.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**, 6th. Washington: National Academies Press, 1976.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**, 6th. Washington: National Academies Press, 1984.

NEIVA, J. N. M. *et al.* Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 668-678, 2004.

NETER, J. *et al.* **Applied Linear Statistical Models**, 4th ed. Boston: McGraw-Hill Publishing Company, 1996.

- NICKERSON, C.A. A note on “A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility”. **Biometrics**, v. 53, p. 1503-1507, 1997.
- NOBRE, I. D. S. *et al.* Cactus pear silage to mitigate the effects of an intermittent water supply for feedlot lambs: Intake, digestibility, water balance and growth performance. **Ruminants**, v. 3, p. 121-132, 2023.
- OLIVEIRA, A, P. *et al.* Meta-analysis of the energy and protein requirements of hair sheep raised in the tropical region of Brazil. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, p. 1-9, 2018.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Meta-analysis of dry matter intake and neutral detergent fiber intake of hair sheep raised in tropical areas. **Plos One**, v.15(12), p. e0244201, 2020.
- OOSTING, S. J.; UDO, H. M. J.; VIETS, T. C. Development of livestock production in the tropics: farm and farmers’ perspectives. **Animal**, v. 8, p. 1238-1248, 2014.
- ØRSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v. 92, p. 499-503, 1979.
- PAULINO, P. V. R. *et al.* Deposição de tecidos e componentes químicos corporais em bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2516-2524, 2009.
- PERAZZO, A. F. *et al.* Intake and ingestive behavior of lambs fed diets containing ammoniated buffel grass hay. **Tropical Animal Health Production**, v. 49, p. 717-724, 2017.
- PEREIRA, E, S. *et al.* Maintenance and growth requirements in male and female hair lambs, **Small Ruminant Research**, v,159, p, 75-83, 2018a.
- PEREIRA, E, S. *et al.* Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. **Animal**, v. 11, n. 12, p. 2165-2174, 2017.
- POSADA, S. L. *et al.* A. Energy requirements for beef cattle: concepts and experimental results in tropical conditions. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v. 24, p. 617-622, 2011.
- REGADAS FILHO, J. G. L. *et al.* Body composition and net energy requirements for Santa Ines lambs. **Small Ruminant Research**, v. 109, p. 107-112, 2013.
- REGADAS FILHO, J. G. L. *et al.* Efficiency of metabolizable energy utilization for maintenance and gain and evaluation of Small Ruminant Nutrition System model in Santa Ines sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 2558-2564, 2011.
- RESENDE, K. T.; SILVA, H. G. O.; LIMA, L.D.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.161-177, 2008.
- RODRÍGUEZ, N. M. *et al.* A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro**

de **Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, p. 495-500, 2007.

SANTOS, N. S. **Níveis de concentrados em dietas com silagem de sorgo realocado para ovinos em terminação - impacto sobre a comunidade microbiana e desempenho animal**. 2023. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, Pernambuco.

SCHOEMAN, S. J.; VISSER, J. A. Comparative water consumption and efficiency in three divergent sheep types. **The Journal of Agricultural Science**, v. 124, p. 139-143, 1995.

SILANIKOVE, N. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. **Livestock Production Science**, v. 30, p. 175-194, 1992.

SILANIKOVE, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. **Small Ruminant Research**, v. 35, p. 181-193, 2000.

SILVA, B. K. *et al.* Cactus pear as roughage source feeding confined lambs: performance, carcass characteristics, and economic analysis. **Agronomy**, v. 11, p. 625, 2021a.

SILVA, F.A.S. *et al.* Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte. *In*: VALADARES FILHO, S. P. *et al.* **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR CORTE**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica editora, 2023.

SILVA, T. S. *et al.* Water intake and ingestive behavior of sheep fed diets based on silages of cactus pear and tropical forages. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, p.1-7, 2021b.

SNIFFEN, C. J. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of animal science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

SOARES, R. L. *et al.* Performance and carcass characteristics of lambs fed diets containing different types of carbohydrates associated with polyunsaturated fatty acids. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 44, 2022.

SOUSA, W. H. *et al.* **Ovinos Santa Inês: estado de arte e perspectivas**. Proceedings of the Simpósio Internacional Sobre Caprinos e Ovinos de Corte. João Pessoa, Paraíba, 501–522, 2003.

SOUZA, D, A.; SELAIVE-VILLARROEL, A, B,; PEREIRA, E, S,; OLIVEIRA, R, L. Effect of the Dorper breed on the performance, carcass and meat traits of lambs bred from Santa Inês sheep. **Small Ruminant Research**, v, 145, p, 76-80, 2016.

SOUZA, F. N. C.; SILVA, T. C.; RIBEIRO, C. V. M. Sisal silage addition to feedlot sheep diets as a water and forage source. **Animal Feed Science Technology**, v. 235, p. 120-127, 2018.

SOUZA, L. L. *et al.* Water restriction periods affect growth performance and nutritional status of Santa Inês sheep in the Brazilian Semi-arid. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, p. 1037-1050, 2022.

SOUZA, R. A. *et al.* Consumo, digestibilidade aparente de nutrientes e balanços de nitrogênio e hídrico de ovinos alimentados com silagens de cultivares de capim-búfel. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, p. 526-536, 2013.

STEINFELD, H.; GERBER, P. Livestock production and the global environment: Consume less or produce better? **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, p. 18237-18238, 2010.

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

TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural systems**, v. 89, p. 225-247, 2006.

TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A.; FOX, D. G. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. **Small Ruminant Research**, v. 89, p. 174-184, 2010.

TEDESCHI, L.O. Harnessing extant energy and protein requirements modeling for sustainable beef production. **Animal**, v. 17, p. 100835, 2023.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D. G.; GUIROY, P. J. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. **Agricultural Systems**, v. 79, p. 171-204, 2004.

TEIXEIRA, I. A.; ALMEIDA, A. K.; FERNANDES, M. H.; RESENDE, K. T. Applying the California net energy system to growing goats. **Translational Animal Science**, v. 3, p.999-1010, 2019.

TYRRELL, H. F.; MOE, P. W. Effect of intake on digestive efficiency. **Journal of Dairy Science**, v. 58, p. 1151-1163, 1975.

VALADARES FILHO, S. C. *et al.* **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados (BRCORTE)**. Viçosa, MG, Suprema Gráfica, 2016.

VALADARES FILHO, S. C.; CHIZZOTTI, M. L.; PAULINO, P. V. R. Exigências nutricionais de bovinos de corte no Brasil: desafios. **Revista Ceres**, v.56, p.488-495, 2009.

VALADARES FILHO, S. P. *et al.* **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados**, 4th ed. Viçosa, MG , Suprema Grafica Ltda, 2023.

VAN ES, A. J. H. Net requirements for maintenance as dependent on weight, feeding level, sex and genotype, estimated from balance trials. **Annales de zootechnie**, v. 29. p. 73-84, 1980.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University. 1994, 476 p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral-

detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

VANDEHAAR, M. J.; ST-PIERRE, N. Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 1280-1291, 2006.

WEISS, W. P. Symposium: prevailing concepts in energy utilization by ruminants. Predicting energy values of feeds. **Journal of dairy science**, v. 76, p. 1802–1811, 1993.

WILLIAMS, C. B.; JENKINS, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 1371-1381, 2003.

WINCHESTER, C. F.; MORRIS, M. J. Water intake rates of cattle. **Journal of Animal Science**, v. 15, p. 722-740, 1956.

ZANETTI, D. *et al.* Prediction of water intake to *Bos indicus* beef cattle raised under tropical conditions. **Journal of animal science**, v. 97, p.1364-1374, 2019.