

CAPÍTULO 2

<http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.2013B004.2>

Interação Animal-Ambiente

Arnaud Azevêdo Alves

Ronaldo de Oliveira Sales

Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo

Abelardo Ribeiro de Azevêdo

Francisco de Assis Vasconcelos Arruda

Introdução

Convencionalmente, as medidas de energia têm sido a base de muitos sistemas de alimentação animal, tabelas de composição de alimentos, e recomendações nutricionais para animais. Devido a energia na forma de calor estar intimamente envolvida com o balanço térmico, é conveniente o uso da energia como um denominador comum quando da descrição da interação entre animais e o ambiente.

Tabelas de exigências de nutrientes listam valores para animais em condições presumivelmente livres de estresse térmico e em desempenho esperado próximo ao potencial genético. Na prática, as condições ambientais nem sempre são ideais e o desempenho dos animais freqüentemente afasta-se do potencial genético. Fatores que contribuem para a redução da produtividade incluem fatores climáticos e fatores de manejo. A importância dos fatores de manejo aumenta muito para animais confinados em sistemas de produção intensiva. Dos muitos estressores que afetam a taxa e eficiência de produtividade animal, merecem destaque as conseqüências do ambiente térmico e fatores associados, como umidade, radiação e vento, como também

altitude, barulho, densidade animal, confinamento, contaminação química e biológica, entre outros.

Estressores individuais podem reduzir independentemente o desempenho animal, ou podem interagir com outros fatores criando um complexo de situações de estresse. Animais abrigados ou alojados tendem a eliminar ou moderar o impacto do macroambiente, mas, simultaneamente, pode ser criada uma nova ordem de estresse microambiental a ser enfrentada pelo animal.

Consumo de alimento

Há muita similaridade entre espécies no que se refere à influência do ambiente na taxa de consumo de alimento e exigência de energia para manutenção, mas há limitação de informações que relacionem sistematicamente as flutuações ambientais às variações das exigências nutricionais dos ruminantes. O efeito do ambiente nas taxas de fluxo de energia é importante em todos os casos e é a base das muitas interações observadas entre nutrição e ambiente. Muitos dos estudos laboratoriais têm demonstrado modificações relativamente significativas no consumo de alimento em condições de temperatura elevada, mas a transferência deste conhecimento tem sido limitada, devido as variações climáticas nas fazendas serem consideravelmente mais instáveis que as avaliadas nos laboratórios. Quando se considerar os efeitos diretos do calor sobre o consumo de alimentos e desempenho animal, também se deve atentar para a influência das mudanças climáticas na qualidade da forragem (NRC, 1981a).

Consumo por vacas de leite

A zona de termoneutralidade para bovinos de leite está entre os 5 e 20°C, mas varia entre animais. HOLTER et al. (1997) verificaram que vacas da raça Holandesa do meio ao final da lactação reduziram mais acentuadamente o CMS (22%) que as primíparas (9%) no mesmo estágio de lactação e prenhez quando submetidas a estresse térmico, o que pode ser justificado pelo crescimento compensatório das primíparas (NRC, 1981a).

Aumento da temperatura ambiente acima da zona de termoneutralidade resulta em redução na produção de leite, devido à redução no CMS e alteração da atividade metabólica (NRC, 2001). HOLTER et al. (1997) e EASTRIDGE et al. (1998) afirmam ocorrer decréscimo no CMS em temperaturas acima dos 20°C. A equação sugerida pelo NRC (2001) para predição do CMS por vacas em lactação não inclui fatores de ajuste para temperatura ou umidade, devido à insuficiência de dados de CMS fora da zona de termoneutralidade para validação de modificações na equação:

$$\text{CMS (kg/dia)} = (0,372 \times \text{LCG} + 0,0968 \times \text{PV}^{0,75}) \times (1 - e^{(-0,192 \times (\text{SL} - 3,67))})$$

onde

LCG = leite corrigido para 4% de gordura (kg/dia),

PV = peso vivo (kg),

SL = semana de lactação.

$1 - e^{(-0,192 \times (\text{WOL} - 3,67))}$ = termo de ajuste adotado para a redução no CMS durante o início da lactação.

No entanto, a reduzida produção de leite durante períodos de estresse calórico reflete a redução no CMS comumente observada neste período. EASTRIDGE et al. (1998) sugerem a seguinte mudança no CMS para temperatura acima da zona de termoneutralidade:

$$\text{Se temperatura} > 20^\circ\text{C, CMS} \times (1 - ((^\circ\text{C} - 20) \times 0,005922)).$$

A aplicação dos fatores de ajuste de EASTRIDGE et al. (1998) para predição do CMS pode resultar em CMS excessivamente baixo, devido ao fato da própria produção de leite já se tornar reduzida neste período (NRC, 2001).

Segundo o NRC (2001), um decréscimo no CMS de até 55% daquele verificado na zona de termoneutralidade, associado a um aumento de 7 a 25% nas exigências de manutenção foi reportado para vacas sob estresse térmico pelo NRC (1981a).

Durante períodos de elevada temperatura ambiente, vacas de leite reduzem o consumo de forragem antes de reduzir o consumo de concentrado, o que pode decorrer do incremento de temperatura interna determinado pelo

calor de fermentação da fibra da dieta (CUMMINS, 1992). Quando vacas em lactação foram alimentadas à vontade com uma dieta contendo 60-65% de forragem de alta qualidade e 35-40% de concentrados e expostas a condições térmicas variáveis, o consumo de alimentos mostrou um baixo declínio no consumo a 25-27°C em relação a 18-20°C, com significativo declínio acima de 30°C, enquanto aos 40°C o consumo foi em geral não mais que 60% do obtido a 18-20°C (Figura 7).

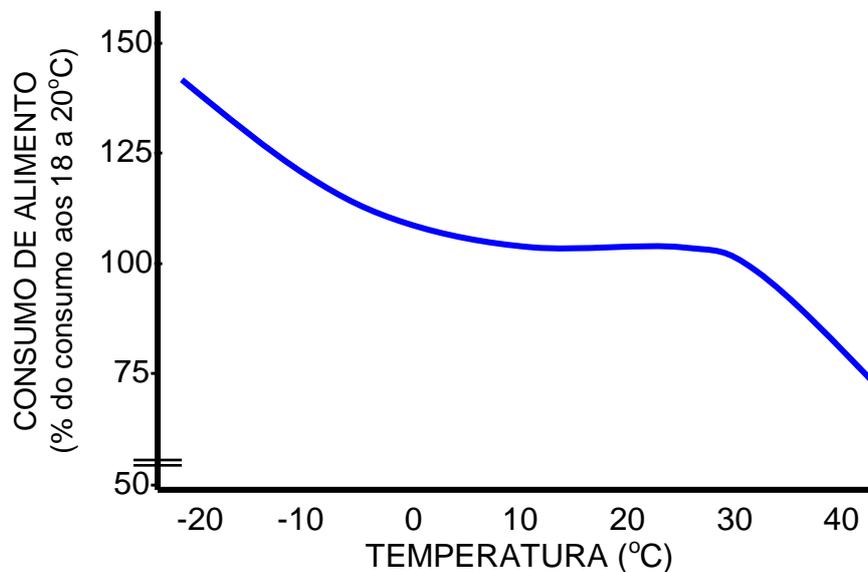


Figura 7 – Efeito de temperatura em câmara climática sobre o consumo de alimento usando como base 18 a 20°C (NRC, 1981a).

A taxa de declínio do consumo de alimento em estresse calórico é influenciada pelo nível de produção de leite e em alguma extensão pela raça (NRC, 1981a).

Quando a temperatura máxima diária excede a 25°C, a taxa de CMS em pastejo pode declinar rapidamente devido em parte aos efeitos diretos do estresse térmico sobre as vacas, causando supressão da atividade e o declínio indireto devido à qualidade da forragem. Frequentemente, a redução da qualidade da forragem decorrente dos efeitos da alta temperatura sobre o crescimento e composição das forragens pode ser tão ou mais importantes quanto o efeito direto do estresse térmico sobre as vacas.

Consumo por novilhas de reposição

Após cerca de seis meses de idade, as novilhas às vezes podem apresentar restrição no consumo sob quaisquer condições ambientais, dificultando prever a influência da temperatura sobre as exigências nutricionais nesta fase (NRC, 1981a). HOFFMAN et al. (1994) demonstraram que a estação do ano, o tipo de instalação, o piso lamacento, o comprimento do pêlo, e a condição corporal das novilhas afetam o ganho médio diário de peso, devendo-se ajustar as exigências de energia para ganho.

Pesquisas conduzidas em câmara com temperatura controlada sugerem cautela quando da determinação da influência da temperatura ambiente sobre o consumo de alimento e taxa de crescimento de novilhas (NRC, 1981a). Posteriormente, pesquisas revelaram que o crescimento compensatório pode superar a supressão de crescimento decorrente de temperaturas elevadas quando os animais retornarem a temperaturas moderadas (BACCARI et al., 1980), no entanto, esta conclusão decorre de pesquisa por período restrito de tempo, cerca de dois meses.

Em ambientes controlados de câmaras climáticas, quando novilhas de reposição foram transferidas das faixas de temperatura 15,6-21,1°C para 23,9-35,0°C, os ganhos diários declinaram durante os primeiros 20 dias, mas foram compensados durante os 20 dias seguintes (JOHNSTON et al., 1961), sendo estas mudanças de ganho correlacionadas positivamente com o CMS.

Resultados preliminares de testes de campo realizados na Venezuela, uma área tropical, revelaram que novilhas da raça Holandesa em alta alimentação, expostas durante toda a vida a uma temperatura máxima igual ou superior a 27°C, foram 50 kg mais leves aos 24 meses que as meio-irmãs paternas em Maryland embora tenham recebido níveis similares de energia. As diferenças de peso entre os dois ambientes não foram significativas, mas as novilhas criadas nos trópicos foram significativamente menores em comprimento (-3,2 cm) e em altura (-2,1 cm), além de possuírem consideravelmente mais gordura corporal. As condições de temperatura da

Venezuela possivelmente criaram um desequilíbrio não identificado na utilização de alimentos, que pode ter afetado o desenvolvimento esquelético. Embora testes em câmara climática tenham indicado menores mudanças no consumo de alimento por novilhas zebuínas que por taurinas com o estresse térmico, o percentual de declínio interespecífico foi aproximadamente o mesmo, levando à conclusão geral que as condições térmicas em fazendas pode levar a distúrbios que afetariam a eficiência de utilização de alimentos pelas novilhas em crescimento, mas os efeitos da temperatura são menores que para vacas em lactação ou bovinos confinados (NRC, 1981a).

Consumo por bovinos confinados

Geralmente, bovinos em crescimento e engorda apresentam um CMS ligeiramente menor por unidade de tamanho metabólico que as vacas em lactação, mas a interação alimentação x temperatura mostra-se similar nos dois grupos (Figura 8 vs. Figura 7).

Estimativas de mudanças no consumo de alimento com a temperatura por bovinos confinados foram derivadas de experimentos de alimentação simulando-se condições de fazenda, utilizando-se dietas completas com no mínimo 70% de digestibilidade.

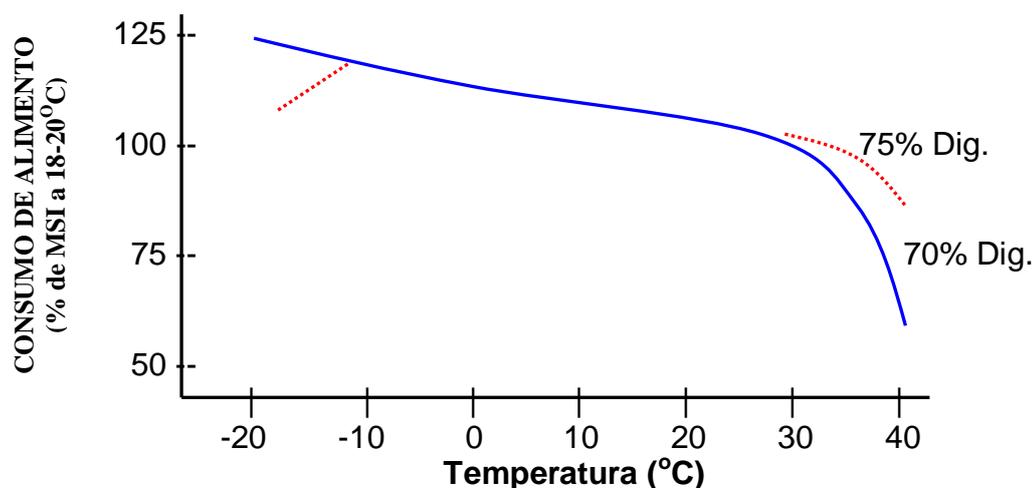


Figura 8 - Mudanças estimadas no consumo de matéria seca por bovinos confinados com ração com 70% de digestibilidade aparente ou em

temperaturas acima de 27°C e 75% de digestibilidade aparente. Linhas pontilhadas indicam mudanças no comportamento (NRC, 1981a).

De 10°C a aproximadamente 25°C houve pouca mudança no consumo de alimento, mas com uma dieta com 70% de digestibilidade o consumo diário da dieta declinou rapidamente quando os bovinos foram expostos por mais que 6 horas ao dia a temperatura acima de 30°C. Aumentando-se o valor energético da ração para uma digestibilidade de 75% pareceu auxiliar na manutenção do consumo pelos animais. Assim, é mais difícil manter o consumo por bovinos de corte em confinamento que por vacas em lactação sob condições extremas de temperatura.

Acima de 25°C o tipo de ração e o nível de temperatura afetam marcadamente o consumo, mas quando a temperatura estiver entre 0°C e 25°C, a digestibilidade da ração é mais importante que a temperatura ambiente. Embora a temperatura seja a variável ambiental mais freqüentemente associada ao consumo de alimento, os efeitos da superfície dos piquetes e a área por animal e suas interações também são importantes no consumo de alimento (ELAM, 1971; McDOWELL e HERNANDEZ URDANETA, 1975).

Há algumas evidências de estudos com bovinos de leite que o apetite de vacas cruzadas é menos influenciado pelo estresse térmico que por vacas puras. Com o elevado uso de cruzamentos na pecuária de corte, possíveis vantagens de cruzamentos sobre a eficiência alimentar durante períodos de estresse merecem atenção (NRC, 1981a).

Consumo por ovinos

Valores para predição das interações temperatura-consumo de alimento em fazendas de criação de ovinos são limitados, principalmente devido a grande maioria dos ovinos ser criada sob condições extensivas. É bem aceito que a cobertura corporal quanto à presença de velo afeta a resposta de ovinos às condições de temperatura, por interferir diretamente no estabelecimento da temperatura crítica inferior (NRC 1985).

Os valores na Tabela 3 indicam que o nível de forragem na dieta e a temperatura influenciam o consumo de alimentos. VON KEYSERLINGK e MATHISON (1993) constataram CMS 8% inferior por cordeiros em crescimento a 21°C em relação a 4,7°C. Devido o menor consumo de energia por ovinos em condições de estresse térmico, deve-se aumentar a EM por unidade de peso ganho.

Tabela 3 – Efeito da relação feno de alfafa:concentrado sobre o consumo de alimento por ovinos sob diferentes condições ambientais*

Relação	Consumo (g/dia)	
feno:concentrado		
Temperatura (°C)	21,0-24,1	21,0-32,5
Umidade relativa (%)	42,0-73,0	33,0-69,3
25:75	1000 ^{a1}	820 ^b
50:50	1180 ^a	1032 ^b
75:25	1050 ^b	1016 ^b
75:25+gordura	879 ^a	868 ^a
Média	1027 ^a	934 ^b

¹Médias seguidas por mesmas letras nas linhas não diferem pelo teste de Duncan (P>0,05).

*Adaptado de BHATTACHARYA e UWAYJAN (1975).

Digestibilidade e metabolizabilidade

A digestibilidade e a metabolizabilidade são medidas biológicas do valor energético ou nutricional dos alimentos e dependem não apenas da natureza física e química dos alimentos em si, como também dos animais que os ingerem, do estado fisiológico dos animais, e da quantidade de alimento consumido (NRC, 1981a).

Diferenças reconhecidas, particularmente nos processos digestivos, entre espécies pelas quais alimentos ingeridos apresentam diferentes valores nutritivos levam ao desenvolvimento de sistemas de alimentação algumas

vezes independentes, incluindo tabelas de composição de alimentos para as várias espécies.

Independente de qualquer influência do ambiente sobre o crescimento vegetal e a composição ou qualidade do alimento para o animal, o ambiente influencia diretamente as funções digestivas e metabólicas do animal, destacando-se que temperaturas elevadas aumentam o esforço dos ruminantes para dissiparem calor, com aumento na frequência respiratória e cardíaca, temperatura corporal e consumo de água, com grande destaque, segundo VAN SOEST (1994) para o decréscimo no consumo de alimento. Sob estresse térmico severo nos trópicos, a habilidade dos animais para digerir alimentos pode ser deprimida, com ênfase para as menores digestibilidades da MS, PB, EE e energia (BHATTACHARYA e HUSSAIN, 1974).

Resultados sumarizados na Tabela 4 indicam o efeito da temperatura ambiente sobre os valores de digestibilidade. A menor taxa de passagem do alimento, com maior tempo de retenção ruminal, e maior volume ruminal com aumento da temperatura ambiente, são de magnitude suficiente para alterar estimativas da digestibilidade aparente (BEEDE e COLLIER, 1986). Assim, deve-se tomar cuidados ao interpretar estimativas da digestibilidade de alimentos durante períodos em que sejam verificadas mudanças no ambiente térmico ou durante estresse térmico constante (NRC, 1981a).

Embora informações relacionando a digestibilidade das dietas ao estresse térmico não sejam de consenso geral, vários trabalhos de pesquisa tendem a suportar a hipótese que a digestibilidade aumenta durante o estresse térmico. Alguns acreditam que isto resulta do decréscimo no consumo voluntário que de um efeito direto do aumento da temperatura ambiente efetiva (NRC, 1981a). AMES e BRINK (1977) usaram ovinos tosquiados alimentados em câmaras climáticas para determinação dos efeitos da temperatura ambiente sobre a digestibilidade dos componentes da dieta. Verificou-se aumento da digestibilidade da MS, PB e ENN quando a temperatura aumentou de 15°C a 35°C (temperatura crítica inferior foi 13°C). A digestibilidade da FB aumentou quando a temperatura aumentou de 15 para 30°C, mas não aumentou em 35°C. Não foram verificadas diferenças na digestibilidade do EE durante estresse térmico. BHATTACHARYA e HUSSAIN (1974) reportaram que durante estresse térmico as dietas para ovinos apresentam menor

digestibilidade da MS, PB, EE e energia, exceto para carboidratos, com maior efeito sobre as dietas com maior proporção de forragem (75%). Talvez variações nos achados relacionando estresse térmico à digestibilidade da dieta sejam alteradas pela relação forragem:concentrado. Assim, são necessários maiores conhecimentos para diferentes dietas.

Embora haja relação do apetite com a exposição ao calor, as mudanças observadas na digestibilidade dos alimentos não são apenas dependentes do consumo de alimento, uma vez estes efeitos serem também verificados quando o consumo de alimento é restringido, com maior relação do tempo de retenção médio da forragem no rúmen com a temperatura ambiente que com o consumo de alimento (WARREN et al., 1974; KENNEDY et al., 1977).

Tabela 4 – Influência da temperatura ambiente na habilidade de bovinos e ovinos digerirem alimentos

Espécies	Nutriente	Temperatura		Variação no coeficiente de digestibilidade por cada 1°C	Fonte
		Baixa (°C)	Alta (°C)		
<i>Bovina</i>					
Novilhos Holandeses	MS ¹	18	32	+0,30	WARREN et al. (1974)
Vacas Holandesas	MS	20	32	+0,27	McDOWELL et al. (1969)
Vacas Holandesas	EB ²	20	32	+0,20	McDOWELL et al. (1969)
Novilhos Holandeses	FDA ³	18	32	+0,41	WARREN et al. (1974)
Vacas Holandesas	FDA	20	32	+0,96	McDOWELL et al. (1969)
Novilhos Holandeses	PB ⁴	18	32	+0,19	WARREN et al. (1974)
Vacas em lactação	PB	20	32	+0,35	McDOWELL et al. (1969)
<i>Ovina</i>					
Macho Awasi	MS	18,2	26,8	-0,41	BHATTACHARYA e HUSSAIN (1974)
Castrado tosquiado	MS	17	33,5	+0,33	HUERTAS et al. (1974)
Castrado tosquiado	MS	4	24	+0,18	KENNEDY et al. (1977)
Machos e fêmeas Dorset	MS	4,7	21	+0,12	VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
Machos e fêmeas Dorset	MO ⁵	4,7	21	+0,22	VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
Macho Awasi	EB	18,2	26,8	-0,57	BHATTACHARYA e HUSSAIN (1974)
Cordeiro crescimento	EB	0	23	0,00	MOOSE et al. (1969)
Cordeiro crescimento	EB	0	23	-0,16	MOOSE et al. (1969)
Cordeiro crescimento	EB	5	29	+0,05	MOOSE et al. (1969)
Cordeiro crescimento	EB	5	29	+0,10	MOOSE et al. (1969)
Castrado tosquiado	EB	17	33,5	-0,14	HUERTAS et al. (1974)
Machos e fêmeas Dorset	EB	4,7	21	+0,10	VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
Machos e fêmeas Dorset	FDA	4,7	21	+0,17	VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
Machos e fêmeas Dorset	MS	4,7	21	+0,17	VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
Castrado tosquiado	PB	17	33,5	-0,38	HUERTAS et al. (1974)
Macho Awasi	PB	18,2	26,8	-0,45	BHATTACHARYA e HUSSAIN

Machos e fêmeas Dorset	PB	4,7	21	+0,06	(1974) VON KEYSERLINGH e MATHISON (1993)
---------------------------	----	-----	----	-------	--

¹MS=matéria seca; ²EB=energia bruta; ³FDA=fibra em detergente ácido; ⁴PB=proteína bruta; ⁵MO=matéria orgânica.

Há muitos dados relacionando o efeito da temperatura ambiente à habilidade dos ruminantes em digerirem forragem. Em ensaios com ovinos recebendo concentrado à base de grãos, em geral a digestibilidade não tem sido influenciada pela temperatura ambiente (HUERTAS et al., 1974 e NRC, 1981a). Para bubalinos, GUIMARÃES (1998), verificou aumento em quatro pontos percentuais na digestibilidade da energia quando submetidos à temperatura entre 30,94 e 36,02°C em relação a 26,23 e 32,9°C, com a justificativa de que esta maior digestibilidade decorreu da redução de consumo em 22%.

Apesar da relação relativamente baixa do tempo de retenção de MS no rúmen com o CMS, LAREDO e MINSON (1973) determinaram uma equação para estimativa do CMS (g/kg^{0,75}/dia) em função do tempo de retenção (TR, h), o que sugere não desprezar também este efeito sobre o consumo da dieta:

$$CMS = 83,1 - 1,32 TR \quad (R^2 = -0,74)$$

Segundo CUMMINS (1992), com o aumento da temperatura ruminal decresce o consumo de alimento. No entanto, este efeito pode ser atenuado pelo consumo de água fria, não se verificando efeitos diretos da temperatura do rúmen sobre as digestibilidades da MS, energia e PB, embora a temperatura ruminal tivesse aumentado após o consumo de alimento, esta retornou à condição normal em rápido intervalo de tempo (10 minutos) após consumo de água a 1°C, indicando completa mistura da fase líquida em 60 a 70 minutos, enquanto a temperatura retal permaneceu elevada por até 270 minutos (CUNNINGHAM et al., 1964), resultado confirmado por GENGLER et al. (1970), ao afirmar que a aplicação de calor ao hipotálamo ou aquecimento do rúmen através de fístula tem efeitos variáveis sobre o consumo de alimento. No entanto, VAN SOEST (1994) afirma que a temperatura corporal provavelmente

seja relativamente sem importância sob condições de clima temperado, podendo ser de maior importância sob condições tropicais.

A importância da taxa de passagem no consumo e digestibilidade da dieta pelos ruminantes está claramente evidenciada (MERTENS e ELY, 1979), verificando-se aumento na digestibilidade da MS da dieta (67,0 vs. 62,8%) com aumento no tempo de retenção médio em novilhos da raça Holandesa mantidos a $32\pm 2^{\circ}\text{C}$ (43,2 h), em relação aos mantidos a $17,4\pm 1^{\circ}\text{C}$ (36,6 h) (WARREN et al., 1974). Durante a exposição ao calor, há redução na amplitude do peristaltismo ruminal em bovinos (ATTEBERY e JOHNSON, 1969), o que pode decorrer da redução na produção de AGVs no rúmen, por influenciar a mistura do material no seu interior, com efeito sobre os receptores neurais, em decorrência da depressão neural via sistema nervoso central, ou possivelmente por efeitos diretos da maior temperatura ruminal sobre a musculatura ou receptores térmicos do rúmen. Neste sentido, MOODY et al. (1967) relacionam a baixa produção de AGVs no rúmen em altas temperaturas aos baixos níveis de ácido acético produzidos a partir da forragem sob estresse térmico.

Mudanças na função digestiva, verificadas em ruminantes, representadas por decréscimo do tempo de retenção no rúmen e trato digestivo como um todo e por redução na digestibilidade aparente da MS, como consequência da exposição ao frio, estão associadas ao aumento da concentração plasmática dos hormônios da tireóide, o que provavelmente resulta em maior peristaltismo do epitélio ruminal (KENNEDY et al., 1977). O efeito do estresse térmico sobre a atividade da glândula tireóide pode estar associado com a redução no peristaltismo gástrico e taxa de passagem, no entanto, são necessárias mais evidências para definição das relações entre o sistema endócrino e o funcionamento do sistema digestivo (BEEDE e COLLIER, 1986).

O efeito dos hormônios da tireóide no peristaltismo do epitélio ruminal foi confirmado em pesquisas realizadas com vacas (MILLER et al., 1974) e com ovinos (KENNEDY et al., 1977), embora os mecanismos de atuação dos hormônios não estejam devidamente esclarecidos, sendo sugerida por MILLER et al. (1974) a redução do tônus da musculatura abdominal, enquanto KENNEDY et al. (1977) afirma ser o T_3 requerido para o peristaltismo normal do intestino, mantendo-se a incerteza se a exposição ao frio facilita a ação do

T₃ sobre a atividade muscular do epitélio do rúmen e retículo, por aumentar a ligação do T₃ no interior dos tecidos, ou por uma ação sinérgica das catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) sobre a ação dos hormônios da tireóide.

Efeitos do ambiente térmico sobre a digestibilidade da MS e energia podem afetar a EM do alimento, embora esta também dependa das perdas de energia pela urina e dos gases da fermentação. Estas perdas, assim como as perdas fecais, também dependem do ambiente.

As evidências indicam a influência do ambiente térmico na função digestiva e sugerem a necessidade do desenvolvimento de fatores de ajuste para dietas à base de forragem para ruminantes. No entanto, qualquer fator de ajuste sugerido pode ser apenas uma estimativa preliminar passível de refinamento por sucessivas pesquisas. Embora informações sobre os ambientes térmicos em geral não estejam disponíveis para estimativas de medidas biológicas de alimentos listados em tabelas de composição de alimentos, assume-se que os dados em geral provêm de estudos com animais em condições de termoneutralidade.

O NRC (1981a) apresentou equação para ajuste do efeito térmico sobre a digestibilidade de constituintes dos alimentos:

$$A = B + B[C_f(T - 20)],$$

Onde:

A = valor ajustado para o ambiente;

B = valor do componente da dieta da tabela de composição de alimentos do NRC;

C_f = fator de correção (Tabela 5);

T = temperatura ambiente efetiva (°C).

Tabela 5 - Fator de correção para efeito da temperatura na digestibilidade da dieta

Componente da dieta	Fator de correção
MS	0,0016

EM, EL, NDT	0,0010
FDA	0,0037
N (PB)	0,0011

Fonte: NRC (1981a).

Deve-se destacar que esta estimativa não foi adotada em publicações posteriores do *National Research Council* e que novas estimativas não surgiram. Naturalmente, a digestibilidade de alimentos é bastante comprometida por vários fatores diferentes, dentre estes, dietas e condições ambientais às quais são expostos forragens e animais em experimento. Além disso, segundo o NRC (1981a), evidências para ovinos indicam que o ajuste para efeito da temperatura na digestibilidade é mais importante para dietas com elevada proporção de forragem.

Partição da energia da dieta

Na Figura 9 está apresentada de forma esquemática a partição da energia do alimento nos animais, útil na identificação das formas como o ambiente influencia as exigências nutricionais dos ruminantes. Onde possível, a terminologia do *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms* (NRC, 1981c) foi adotada.

Energia ingerida (EI) é a energia combustível ingerida diariamente, determinada a partir da densidade de energia combustível do alimento, sua oportunidade de ingestão, e o apetite do animal. O alimento não é completamente digerido ou absorvido. A fração não absorvida é perdida nas fezes e sua energia combustível é referida como energia fecal (EF). A energia digestível (ED) pode ser calculada como EI-EF. No entanto, como as fezes também contêm material endógeno, nem toda a energia combustível das fezes é originária diretamente da fração não absorvida do alimento. Devido ao componente endógeno, o valor obtido (EI-EF) é mais corretamente denominado energia digestível aparente. Da mesma forma, a energia metabolizável (EM) ingerida pode ser calculada a partir da energia ingerida menos as perdas fecais (EF), urinárias (EU) e os produtos gasosos da digestão

(EG), onde, $EM=EI-EF-EU-EG$. Logo, por definição, EM ingerida é aquela disponível ao animal para funções de manutenção e produtivas (NRC, 1981c).

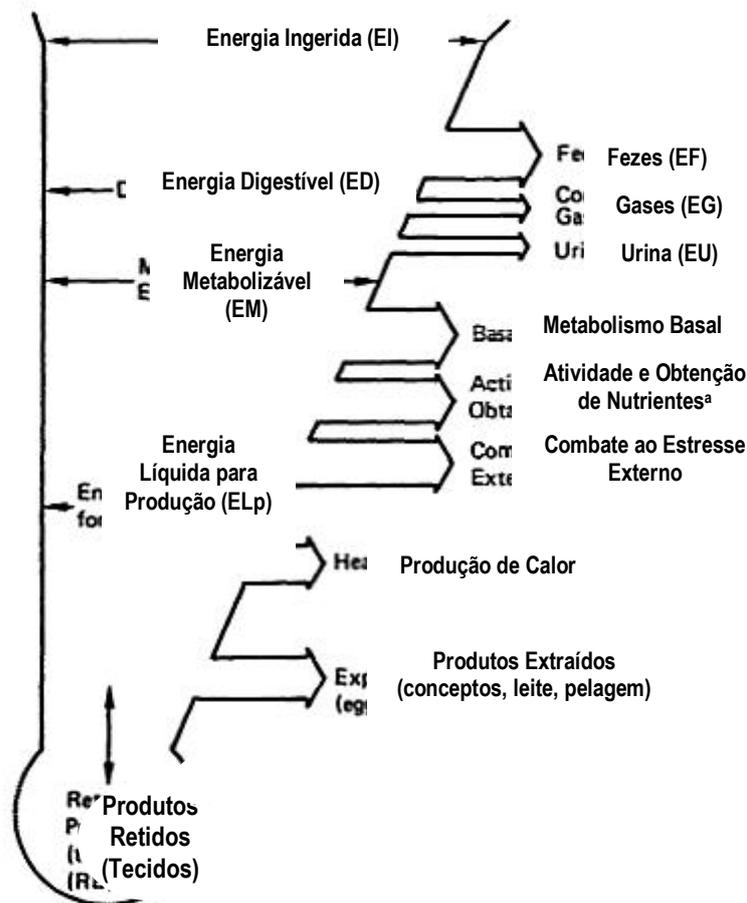


Figura 9 – Partição da energia do alimento no animal (NRC,1981).

^aIncrementos calóricos de atividade voluntária, fermentação, digestão, absorção, e metabolismo de nutrientes para funções de manutenção e produção comprometem o balanço térmico do animal em ambientes quentes.

Funções de manutenção envolvem a utilização e oxidação da EM para (1) metabolismo basal, representado pela energia do calor envolvida na manutenção da integridade corporal através dos processos vitais, (2) atividade voluntária e obtenção de alimento, os processos de digestão, absorção, conversão do alimento às formas metabolizáveis, e a formação e excreção dos produtos residuais, e (3) combate aos estressores externos relacionados com uma imediata e direta imposição de estresse sobre o animal. Com relação à última, os animais são consistentemente expostos a vários tipos e magnitudes

de estresse aos quais podem continuamente se ajustar tanto por comportamento como fisiologicamente. Os custos energéticos de estressores tais como parasitas ou patógenos são reconhecidos, porém não bem definidos. A EM oxidada para os vários processos de manutenção é liberada no animal como calor (calor de manutenção) e é finalmente liberada ao ambiente através dos mecanismos físicos de troca de calor (NRC, 1981a).

A EM para produção está disponível após atendimento às exigências de manutenção. Devido às ineficiências de síntese de produtos (calor de produção), a energia disponível para produção não é completamente incorporada aos produtos, sendo retida no crescimento de tecidos ou na engorda, ou expelida como produtos, tais como leite, pelagem ou crias. A última inclui ineficiências de síntese de produtos assim como os custos de retenção ou de liberação do produto (NRC, 1981c).

Tipicamente, os animais retêm energia como glicogênio, lipídeos e/ou proteína quando a ingestão de EM excede as exigências imediatas. Da mesma forma, a energia retida é mobilizada quando a demanda dos animais excede a energia disponível nos alimentos, como ocorre quando do manejo de engorda de vacas leiteiras secas visando a mobilização e utilização de reservas durante o pico da lactação quando o máximo de ingestão é insuficiente para atender as exigências imediatas para manutenção e níveis máximos de lactação (NRC, 1981c).

Estresse por calor ocorre quando a temperatura ambiente efetiva é maior que a temperatura crítica superior, sendo esta função da produção de calor pelo animal e da perda para o ambiente. A produção de calor pelo animal, segundo o NRC (2000) pode ser assim calculada:

$$\text{Produção de calor} = \text{EM} - \text{ER}$$

Onde EM é a energia metabolizável ingerida e ER é a energia retida, que pode incluir EL_g , EL_i , etc. (expressas em relação ao tamanho metabólico).

Durante estresse térmico os mecanismos termorregulatórios são ativados para dissipar o excesso de calor do corpo para manter a homeotermia. Assim, o calor que pode ser benéfico durante a exposição ao frio pode ser uma carga para o animal durante o estresse térmico. Por exemplo, o calor envolvido nas

funções produtivas efetivamente reduz a zona de termoneutralidade, resultando em maior magnitude de estresse térmico em uma dada temperatura para produção comparada com animais em manutenção (NRC, 1981a).

Ajustes de comportamento e fisiológicos pelo animal exposto aos estressores externos afetam o consumo de energia e sua partição no organismo, a quantidade de energia disponível para produção, o nível de produtividade, e a eficiência de utilização de alimento. As influências do ambiente são tão amplas quanto as implicadas nos simples componentes de *combate de estresse externo*.

Metabolismo basal

Metabolismo basal é geralmente definido como a produção de calor por um animal em estado de repouso total, em estado pós-absortivo, consciente, não estressado termicamente (não ofegante, suado ou arrepiado) e em um ambiente de termoneutralidade. Assim, pode existir uma faixa de temperatura acima da qual o metabolismo basal pode ser determinado. Embora este estado possa ser atingido em humanos, é extremamente difícil ser atingido em outros animais. Conseqüentemente, o termo *metabolismo de jejum* tem sido adotado aos animais (NRC, 1981a e ØRSKOV e RYLE, 1990). O NRC (1981a) considera o metabolismo basal como decorrente do resultado das mudanças químicas que ocorrem nas células dos animais visando manter a atividade vital celular, respiração e circulação.

Como há dificuldade em se determinar quando os animais ruminantes alcançam o estado após absorção, o *metabolismo de jejum* é quantificado em animais instalados em câmara respiratória, onde atividades além de levantar e deitar sejam mínimas. Um problema em ruminantes é que levam muito tempo para atingir o estado de jejum ou pós-absortivo, sendo considerado um período de cinco dias, embora ainda possa continuar ocorrendo fermentação no rúmen e intestino grosso (ØRSKOV e RYLE, 1990).

O metabolismo basal, estabelecido sob condições mínimas de produção de calor, deve ter a conotação de que os valores foram plotados como em jejum contínuo, embora o metabolismo basal esteja em lento declínio. Assim, a duração do tempo para o jejum é um critério importante a ser especificado. Há

muita confusão e divergência de quando o metabolismo de jejum termina e o metabolismo basal inicia em cada espécie. A taxa de passagem do alimento através do trato digestivo pode ser um fator em que se pode basear esta decisão. Em todos os casos, a duração do período de jejum deve ser especificada. Uma característica do metabolismo de jejum é quando o quociente respiratório (QR) refletir o catabolismo da gordura. Experimentalmente isto requer de 48 a 144 h de jejum (NRC, 1981a).

A fórmula para cálculo da taxa de produção de calor metabólico pelos ruminantes por calorimetria indireta (BROUWER, 1965) é a seguinte:

$$\text{Produção total de calor (kcal/dia)} = 3,866 \times \text{O}_2, \text{ litros/dia} + 1,2 \times \text{CO}_2, \text{ litros/dia} - 0,518 \times \text{CH}_4, \text{ (litros/dia)} - 1,431 \times \text{N urinário (gramas/dia)}$$

Embora a quantificação do O_2 isolada não seja tão acurada como o ajuste para produção de CO_2 e de outros fatores, cálculos utilizando 4,7 kcal/litro de O_2 são mais aceitáveis (NRC, 1981a). Assume-se um quociente respiratório para o animal em jejum de 0,71, e ignora as perdas de metano e nitrogênio em não ruminantes.

Em trabalho com ovinos mestiços em engorda, SODERQUIST e KNOX (1967), em temperatura elevada controlada (35°C) verificaram o dobro das perdas totais de carbono como metano e maior produção de calor em relação à verificada quando os animais foram mantidos sob condições de temperatura ambiente (23°C). A taxa metabólica de jejum é influenciada pela temperatura prévia às medidas metabólicas (NRC, 1981a).

A área superficial de um animal é um importante componente, devido seu papel na perda de calor e por ser positivamente correlacionada com a produção de calor. Assim, o metabolismo basal é altamente correlacionado com o peso corporal metabólico, isto é, W^x , onde x é o valor exponencial ao qual o valor W é elevado. Uma discussão detalhada da derivação de metabolismo basal $= aW^x$, é apresentada por KLEIBER (1961). Neste sentido, DEVENDRA e BURNS (1983) afirmam que a produção de calor metabólico de um animal relaciona-se diretamente com a superfície relativa do corpo, a qual é tanto maior quanto menor for o animal.

Valores para metabolismo basal têm sido consideravelmente variáveis inclusive entre raças similares dentro de espécies. Estes valores são obtidos em experimentos, incluindo trocas gasosas, medidas de liberação de calor e abate comparativo. KLEIBER (1961) determinou que M (como uma medida de metabolismo basal) = $70 \text{ kcal/PV}^{0,75}/\text{dia}$ como a melhor aproximação do metabolismo basal para animais homeotérmicos, onde M é expresso em kcal e PV é o peso corporal, expresso em quilogramas. A Associação Européia de Produção Animal adotou, em 1964, a potência $\frac{3}{4}$ do peso vivo como a base de referência interespecífica.

Dados mais recentes de exigências energéticas para manutenção, utilizados em procedimentos de nutrição animal são os do NRC (1985) de $56 \text{ kcalEL/PV}^{0,75}$, para ovinos; do NRC (2000) de $77 \text{ kcalEL/PCV}^{0,75}$, para bovinos de corte, onde peso de corpo vazio (PCV) corresponde a aproximadamente 96% do peso vivo; do NRC (2001), de $80 \text{ kcalEL/PV}^{0,75}$, para vacas de leite adultas; e do NRC (1981b) de $101,38 \text{ kcalEM/PV}^{0,75}$, para caprinos, com uma eficiência a EL de 56,5%, o que resulta em uma exigência de $57 \text{ kcalEL/PV}^{0,75}$. Para bubalinos, ALVES e SALES (2000), em revisão apresentam dados de TEIXEIRA et al. (1987) com estimativa de $78 \text{ kcalEL/PV}^{0,75}$ para manutenção de bubalinos para abate.

No reconhecimento das várias rotas pelas quais ocorre transferência de energia nos animais, uma pode prever que muitos fatores influenciam o metabolismo basal, tais como plano de nutrição prévio, taxa de consumo de alimento, ambiente, idade, atividade, doenças e infecções, sexo, raça, espécie, tipo e extensão da pelagem, entre outras (NRC, 1981a).

Nos animais homeotérmicos, a temperatura corporal tende a aumentar com a maior dificuldade do animal em remover calor, levando ao aumento progressivo na utilização de O_2 (AMES et al., 1971). Assim, um aumento de 10°C na temperatura corporal teoricamente resulta em um aumento dobrado na utilização de oxigênio, como revelado por uma curva em escala semilogarítmica de utilização de O_2 (log) versus temperatura corporal (aritmética). No entanto, certas raças de animais são mais eficientes em dissipação de calor, e sua resistência depende em alguma extensão do maior peso em metabolismo basal.

VAN SOEST (1994), com base em resultados de KETELAARS e TOLKAMP (1992) e TOLKAMP e KETELAARS (1992), afirma que, embora estes autores tenham obtido efeito quadrático da eficiência de utilização de O₂ sobre o consumo de alimento e que a densidade calórica otimiza a eficiência de utilização do O₂, a regulação do consumo de alimento é uma integração de vários fatores no sistema metabólico do animal, sendo perigoso tentar estabelecer um mecanismo particular devido à dificuldade de se excluir os demais fatores mesmo experimentalmente, o que também foi destacado pelo NRC (1981a).

A minimização da proporção de EM demandada para o metabolismo basal seria vantajosa na maximização da energia disponível para a síntese de produtos.

Com base no consumo de O₂, animais aclimatados a ambientes frios geralmente apresentam maior produção de calor em temperaturas acima daquelas em que a aclimação ocorreu (YOUNG, 1975ab). Esta é uma resposta à aclimação por animais com uma menor temperatura crítica superior (NRC, 1981a).

O componente comportamento dos animais relaciona-se intimamente com o nível de funções basais, e a reciprocidade do comportamento com o estágio do ciclo reprodutivo e sistemas de manejo também modificam o metabolismo basal, com muitos paralelos de respostas entre a ampla diversidade de animais que servem à humanidade (NRC, 1981a). Segundo HUERTAS et al. (1974), práticas de manejo como a tosquia de ovinos pode influenciar a produção de calor em condições basais.

LITERATURA CONSULTADA

- ALVES, A.A.; SALES, R.O. Aspectos do manejo nutricional de bubalinos para abate: uma revisão. *Revista Científica de Produção Animal*, v.2, n.2, p.233-248, 2000.
- AMES, D.R.; BRINK, D.R. Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. *Journal of Animal Science*, v.44, n.1, p.136-140, 1977.

- AMES, D.R.; NELLOR, J.E.; ADAMS, T. Energy balance during heat stress in sheep. *Journal of Animal Science*, v.32, n.4, p.784-788, 1971.
- ATTEBERY, J.T.; JOHNSON, H.D. Effect of environmental temperature, controlled feeding and fasting on rumen motility. *Journal of Animal Science*, v.29, n.5, p.734-737, 1969.
- BACCARI JR., F.; JOHNSON, H.D.; HAHN, G.L. Compensatory growth of young dairy heifers subjected to heat stress. *Journal of Animal Science*, v.51, (Suppl. 1), p.4, 1980. (Abstr.).
- BEEDE, D.K.; COLLIER, R.J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*, v.62, n.2, p.543-554, 1986.
- BHATTACHARYA, A.N.; HUSSAIN, F. Intake and utilization of nutrients in sheep fed different levels of roughage under heat stress. *Journal of Animal Science*, v.38, n.4, p.877-886, 1974.
- BHATTACHARYA, A.N.; UWAYJAN, M. Effect of high ambient temperature and low humidity on nutrient utilization and on some physiological responses in Awasi sheep fed different levels of roughage. *Journal of Animal Science*, v.40, n.2, p.320-328, 1975.
- BROUWER, E. Report of subcommittee on constants and factors. *Proc. of 3rd. International Symposium on Energy Metabolism*, European Association of Animal Production. Publ. N^o. 11, p.441, 1965.
- CUMMINS, K.A. Effect of dietary acid detergent fiber on responses to high environmental temperature. *Journal of Dairy Science*, v.75, n.6, p.1465-1471, 1992.
- CUNNINGHAM, M.D.; MARTZ, F.A.; MERILAN, C.P. Effect of drinking-water temperature upon ruminant digestion, intraruminal temperature, and water consumption of nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.47, n. , p.382-385, 1964.
- DEVENDRA, C.; BURNS, M. *Goat production in the tropics*. UK: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1983. 183p.
- EASTRIDGE, M.L.; BUCHOLTZ, H.F.; SLATER, A.L. et al. Nutrient requirements for dairy cattle of the National Research Council versus some commonly used ration software. *Journal of Dairy Science*, v.81, n.11, p.3049-3062, 1998.

- ELAM, C.J. Problems related to intensive indoor and outdoor beef production systems. *Journal of Animal Science*, v.32, n.3, p.554-559, 1971.
- GENGLER, W.R.; MARTZ, F.A.; JOHNSON, H.D. et al. Effect of temperature on food and water intake and rumen fermentation. *Journal of Dairy Science*, v.53, p.434-437, 1970.
- GUIMARÃES, C.M.C. *Termorregulação e digestibilidade em bubalinos submetidos a duas temperaturas do ar e duas proporções de volumoso:concentrado*. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras - UFLA, 1998. 64p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, 1998.
- HOFFMAN, P.C.; BREHM, N.M.; HOWARD, W.T. et al. The influence of nutrition and environment on growth of Holstein replacement heifers in commercial dairy herds. *Professional Animal Science*, v.10, p.59-65, 1994.
- HOLTER, J.B.; WEST, J.W.; MCGILLARD, M.L. Predicting *ad libitum* dry matter intake and yield of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.80, n.9, p.2188-2199, 1997.
- HUERTAS, A.A.G.; COELHO DA SILVA, J.F.; CAMPOS, O.F. et al. Efeito da temperatura ambiente sobre o consumo, a digestibilidade e a retenção de nutrientes em ovinos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.3, n.2, p.245-266, 1974.
- JOHNSTON, J.E.; HINDERY, G.A.; HILL, D.H. et al. Factors concerned in hot weather effects on growth and feed efficiency of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, v.44, n.5, p.976, 1961.
- KENNEDY, P.M.; YOUNG, B.A.; CHRISTOPHERSON, R.J. Studies on the relationship between thyroid function, cold acclimation and retention time of digesta in sheep. *Journal of Animal Science*, v.45, n.5, p.1084-1090, 1977.
- KETELAARS, J.J.M.H; TOLKAMP, B.J. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants. 1. Causes of differences in voluntary intake: critique of current views. *Livestock Production Science*, v.30, p.269-296, 1992.
- KLEIBER, M. *The fire of life*. New York: John Wiley and Sons Inc., 1961. 428p.
- LAREDO, M.A.; MINSON, D.J. The voluntary intake, digestibility and retention time by sheep of leaf and stem fractions of five grasses. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.24, n.6, p.875-888, 1973.

- McDOWELL, R.E.; HERNANDEZ-URDANETA, A. Intensive systems for beef production in the tropics. *Journal of Animal Science*, v.41, p.1228, 1975.
- MERTENS, D.R.; ELY, L.O. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. *Journal of Animal Science*, v.49, n.4, p.1085-1095, 1979.
- MILLER, J.K.; SWANSON, E.W.; LYKE, W.A. et al. Effect of thyroid status on digestive tract fill and flow rate of undigested residues in cattle. *Journal of Dairy Science*, v.57, n.2, p.193-197, 1974.
- MOODY, E.G.; VAN SOEST, P.J.; McDOWELL, R.E. et al. Effect of high temperature and dietary fat on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, v.50, n.12, p.1909-1916, 1967.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. *Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals*. Washington D.C.: National Academy Press, 1981a. 152p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 6th ed. Rev., Washington, D.C.: National Academy Press, 2000. 232p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 381p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. *Nutrient requirements of sheep*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1985. 99p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. *Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1981c. 54p.
- ØRSKOV, E.R.; RYLE, M. *Energy nutrition in ruminants*. New York: Elsevier Science Publishers, 1990. 149p.
- SODERQUIST, H.G.; KNOX, K.L. Temperature-energy relationships in fattening lambs. *Journal of Animal Science*, v.26, n.4, p.930, 1967. (Abstr.).
- TEIXEIRA, J.C.; COELHO DA SILVA, J.F.; GARCIA, J.A. et al. Exigências de energia e proteína, composição e área corporal e principais cortes de carcaça em seis grupos genéticos de bovídeos. II-Exigências de energia e proteína. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.16, n.2, p.181-192, 1987.

- TOLKAMP, B.J.; KETELAARS, J.J.M.H. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants. 2. Costs and benefits of feed consumption: a optimization approach. *Livestock Production Science*, v.30, p.297-313, 1992.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2th ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. 476p.
- WARREN, W.P.; MARTZ, F.A.; ASAY, K.H. et al. Digestibility and rate of passage by steers fed tall fescue, alfalfa and orchardgrass hay in 18 and 32 C ambient temperatures. *Journal of Animal Science*, v.39, n.1, p.93-96, 1974.
- YOUNG, B.A. Effects of winter acclimatization on resting metabolism of beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, v.55, p.619-625, 1975a.
- YOUNG, B.A. Temperature-induced changes in metabolism and body weight of cattle (*Bos taurus*). *Canadian Physiology and Pharmacology*, v.53, p.947-953, 1975b.