

# Efeito da composição da ração sobre a energia líquida em frangos de corte: revisão de literatura

Composição da ração, energia metabolizável, incremento calórico, produção de calor.

Maurício de Paula Ferreira Teixeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Médico veterinário autônomo, Doutor em Zootecnia (Produção de Monogástricos) pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: teixeirampf@hotmail.com

## RESUMO

O frango de corte moderno apresenta elevada taxa de crescimento, a qual é alcançada pelo alto consumo de ração. Esta, por sua vez, representa a maior fração dos custos de produção na avicultura comercial. A energia é o componente mais caro da ração e a estimativa precisa do valor energético dos alimentos torna-se fundamental na indústria avícola, especialmente em regiões tropicais, onde predominam altas temperaturas que podem influenciar diretamente o consumo e o balanço energético dos alimentos. Atualmente, o conteúdo energético da ração para aves é calculado com base no conteúdo de EM dos ingredientes. No entanto, a estimativa mais próxima do valor energético "verdadeiro" de um alimento é o seu conteúdo em energia líquida. A eficiência de utilização da EM para EL depende de vários fatores como temperatura ambiente, umidade, atividade física, idade, peso, composição da ração, forma física da ração, entre outros. Esta revisão visa discorrer sobre os principais aspectos relacionados aos sistemas de avaliação de energia dos alimentos, focando principalmente no sistema de energia líquida (EL) e na influência que a composição da ração exerce sobre a eficiência de aproveitamento da energia metabolizável (EM) para a EL.

**Palavras-chave:** composição da ração, energia metabolizável, incremento calórico, produção de calor.



Nutri·Time

Revista Eletrônica

Vol. 14, Nº 06, nov./dez. de 2017

ISSN: 1983-9006

[www.nutritime.com.br](http://www.nutritime.com.br)

A Nutritime Revista Eletrônica é uma publicação bimestral da Nutritime Ltda. Com o objetivo de divulgar revisões de literatura, artigos técnicos e científicos bem como resultados de pesquisa nas áreas de Ciência Animal, através do endereço eletrônico: <http://www.nutritime.com.br>. Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

## EFFECT OF FEED COMPOSITION ON LIQUID ENERGY IN BROILERS: LITERATURE REVIEW

### ABSTRACT

Modern broiler chicken has a high growth rate, which is achieved by high feed intake. In poultry production, feed represents a larger fraction of production costs. Energy is the most expensive component of the diet and accurate estimation of the energetic value of feeds becomes critical in the poultry industry, especially in tropical regions, where high temperatures can directly influence the consumption and the energetic balance of feed. Currently, the energy content of poultry feed is calculated based on the ME content of the ingredients. However, the closest estimation of the "true" energy value of an ingredient is its net energy content. The efficiency of the use of metabolizable energy to net energy depends on several factors such as environmental temperature, humidity, physical activity, age, weight, feed composition, feed physical form and others. This review aims to discuss the main aspects of food energy assessment systems, focusing on the net energy system and the influence of feed composition on the efficiency of the use of metabolizable energy to net energy.

**Keyword:** feed composition, metabolizable energy, heat increment, heat production.

## INTRODUÇÃO

A avicultura é uma das atividades com menor margem de lucro no agronegócio, fazendo com que os envolvidos na atividade avícola busquem sempre meios de redução de custos. Na produção comercial de aves, a ração representa a maior fração dos custos de produção, sendo a energia o componente mais caro. Desta forma, é fundamental a estimativa precisa do valor energético dos alimentos que compõe a ração, favorecendo a formulação de dietas a um menor custo, sem prejudicar o desempenho.

Atualmente, o conteúdo energético da ração para aves é calculado com base no conteúdo de energia metabolizável (EM) dos ingredientes. No entanto, a estimativa mais próxima do valor energético "verdadeiro" de um alimento é o seu conteúdo em energia líquida (EL), pois leva em consideração as diferentes formas de utilização dos nutrientes para a manutenção e produção.

A EM é uma medida muito útil para estimar a energia disponível nos alimentos. Entretanto, a EM não apresenta 100% de eficiência para crescimento e deposição de carne, uma vez que parte da energia é perdida como calor durante os processos metabólicos. Esta energia perdida na forma de calor é denominada de incremento calórico, que é influenciada pela composição química do alimento.

A eficiência de utilização da EM para EL depende de vários fatores como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, atividade física, idade, peso, composição da ração, forma física da ração, luminosidade, linhagem, entre outros (Sakomura, 2004; Sakomura et al., 2004; Lopez & Leeson, 2005; Longo et al., 2006; Latshaw & Moritz, 2009). Neste contexto, esta revisão tem como objetivo discorrer sobre os principais aspectos relacionados aos sistemas de avaliação de energia dos alimentos, focando principalmente no sistema de energia líquida e na influência que a composição da ração exerce sobre a eficiência de aproveitamento da EM para produção de EL.

## ENERGIA

A energia é produzida pela oxidação de carboidratos, gorduras e proteínas da dieta durante o metabolismo

animal e, embora não seja um nutriente, é um componente fundamental da ração (Sakomura & Rostagno, 2007). As aves utilizam a energia da ração para o crescimento, atividades físicas e manutenção da temperatura corporal. Parte da energia resultante da oxidação das substâncias orgânicas no organismo é transferida para compostos fosfóricos de alta energia (ATP), de onde o animal retira sua energia para os processos vitais (Kleiber, 1975).

A energia dietética pode ser utilizada de três diferentes formas: suprir energia para atividades, ser convertida em calor ou estocada como tecido corporal. A utilização ótima dos nutrientes pela ave é atingida quando a dieta contém a proporção de energia e demais nutrientes necessários para o crescimento e composição corporal desejada (Leeson & Summers, 2001).

Segundo Sakomura (2004), a energia obtida do alimento é utilizada primeiramente para atender a manutenção dos processos de sobrevivência e só então é utilizada para o crescimento e produção. Assim, a deposição de tecido para crescimento só ocorre após as exigências para manutenção serem atendidas. Caso a energia disponível na ração não seja suficiente para atender as exigências de manutenção, o tecido corporal será catabolizado para fornecer a energia necessária.

## PROCESSOS DE DETERMINAÇÃO DA ENERGIA

A alimentação representa uma grande fração do custo na produção avícola e a energia é o componente mais caro. Sendo assim, a precisão da estimativa do valor energético dos alimentos é essencial.

Os carboidratos, os lipídeos, as proteínas e parte da fibra são os constituintes do alimento com potencial para fornecer energia ao organismo animal. Contudo, o total de energia difere entre estes nutrientes (Sakomura & Rostagno, 2007). Deste modo, a avaliação energética e o uso de um sistema mais preciso para quantificar essa energia é de extrema importância na formulação de rações para aves. Os processos existentes para descrever a energia dietética são energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL).

A forma normalmente utilizada na avaliação do conteúdo energético dos alimentos para aves é a EM, definida como a diferença entre a EB do alimento e a EB perdida nas excretas (fezes e urina) e nos gases da digestão (Sibbald, 1982). Contudo, o intestino grosso das aves é pouco desenvolvido e a digesta passa pouco tempo no trato gastrointestinal, sendo assim, a energia perdida na forma de gases é muito baixa e tem sido desprezada nos cálculos da EM (Sakomura & Rostagno, 2007).

O processo de determinação da EM fornece uma estimativa da energia presente na ração que é potencialmente utilizável pela ave, porém não prevê a eficiência com que essa energia é utilizada para manutenção e produção (Van Der Klis & Kwakernaak, 2008). Contudo, a determinação da EL leva também em consideração o calor produzido durante os processos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes, que é conhecido como incremento calórico (IC) (Noblet et al., 2010). Portanto, a EL é definida como o teor de EM menos IC. A energia que sobra depois dessas perdas é a energia verdadeiramente utilizada pela ave para manutenção (ELm - energia líquida para manutenção) e produção (ELp – energia líquida para produção: retenção de lipídeos, de proteína e produção de ovos).

A relação EL/EM (k) corresponde à eficiência de utilização da EM para EL. Entretanto, o k não é constante e depende de vários fatores fisiológicos e nutricionais. Por exemplo, o IC é menor quando a EM é utilizada para a deposição de gordura em comparação com a deposição de proteína. Como a proporção de deposição de gordura normalmente aumenta mais rapidamente do que a deposição de proteína, com o aumento do consumo de energia metabolizável, o IC, teoricamente, tende a ser mais baixo nos níveis mais elevados de ingestão (Noblet et al., 1999).

Assim, o IC é definido como o calor produzido durante a ingestão, digestão, e metabolismo dos nutrientes, ou seja, calor resultante do aumento da atividade gastrointestinal, hepática, renal, dos sistemas circulatório e respiratório, devido à necessidade de digerir e metabolizar os nutrientes. O termo produção de calor (PC) refere-se ao somatório do incremento calórico com a energia gasta para manutenção (Noblet et al., 2010).

Em animais em crescimento, o consumo de EL é calculado como a soma da energia retida no corpo (ER), a um dado nível de alimentação e produção, e a produção de calor em jejum (PCj), que representa a ELm (Noblet et al., 1994). A EL encontrada e o k correspondente representam a utilização combinada da energia para satisfazer os requisitos de manutenção e crescimento (Noblet et al., 2010). A ER pode ser determinada pela técnica de abate comparativo ou, mais frequentemente, calculada pela diferença entre o EM ingerida (EMI) e a PC estimada por calorimetria. A PCj pode ser medida diretamente nos animais em jejum ou obtidos a partir de dados da literatura. É preferível obtê-la após um período de alimentação com dieta teste, pois a produção de calor em jejum depende da composição corporal e do estado fisiológico do animal, que podem ser influenciados pela dieta, condições climática e genética (Noblet et al., 2010). Assim, a diferença obtida entre a PC das aves alimentadas e em jejum, corresponderá ao IC, e conhecendo-se o teor de EMI pode-se determinar o valor de EL da dieta.

Como mencionado anteriormente, a PC pode ser estimada através da técnica do abate comparativo ou a partir de trocas gasosas através da calorimetria indireta, podendo ainda ser mensurada diretamente através da calorimetria direta.

O método do abate comparativo estima a PC pela diferença entre a EMI e a ER, que durante o ensaio experimental é quantificada avaliando-se a composição corporal inicial de um grupo de animais que representam os animais experimentais e a composição dos animais no final do ensaio (Sakomura, 2004). A ER é calculada pela diferença entre a composição energética corporal final e inicial. Este método baseia-se na premissa de que a composição corporal de um grupo de animais pode representar a composição da população estudada (Wolynetz & Sibbald, 1987). Assim, para evitar erros experimentais é essencial a obtenção de amostras representativas e homogêneas.

Entretanto, o método mais utilizado é a calorimetria indireta, a qual permite uma avaliação em um curto período de tempo, com possibilidade de usar os mesmos animais para diferentes avaliações, incluindo o jejum. Neste método o fluxo de ar é misturado ao ar expirado pelas aves, sendo

coletadas amostras a cada cinco minutos para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> podem ser calculados com base no volume e na composição do ar que entra em comparação ao ar que sai (Kleiber, 1975). Deste modo, a PC é estimada pela fórmula de Romijn & Lokhorst (1961) que posteriormente foi modificada por Brouwer (1965). Portanto, a PC é calculada a partir das mensurações das trocas gasosas (produção de gás carbônico e consumo de oxigênio) combinado com a excreção de nitrogênio urinário (Nu) de acordo com a seguinte fórmula:  $PC(kj) = 16,18 \times O_2(l) + 5,02 \times CO_2(l) - 5,88 Nu(g)$ .

Entretanto, no caso específico das aves, a contribuição do nitrogênio urinário no cálculo da PC é normalmente inferior a 0,3% (Romijn & Lokhorst, 1961) e tem sido omitido nas pesquisas com estes animais por geralmente induzir a um erro <1% (Geraert et al., 1988; Gabarrou et al., 1997; Gabarrou et al., 1998; Zeman et al., 2001; Swennen et al., 2004; Tachibana et al., 2007; Tachibana et al., 2013).

### EXIGÊNCIAS ENERGÉTICAS PARA MANTENÇA E CRESCIMENTO

As exigências de manutenção de frangos em crescimento representam grande parte da EMI (42 a 44%), portanto, uma avaliação precisa é fundamental para a compreensão do metabolismo energético em frangos de corte (Lopez & Leeson, 2005).

As exigências energéticas são divididas em gastos de energia para manutenção e produção. A energia para manutenção envolve gastos inevitáveis e primários, necessários para a sobrevivência, ou seja, metabolismo basal. A exigência para manutenção é descrita como a quantidade de energia necessária para equilibrar a composição corporal, ou seja, equilibrar o anabolismo e catabolismo restando próximo de zero de energia quando não há produção, trabalho ou atividade (Sakomura, 2004). A exigência de manutenção é atendida a partir da energia dos alimentos ou da oxidação de reservas corporais. Além de atender às exigências para manutenção, a energia ingerida também é destinada à síntese de compostos orgânicos, isto é, para o crescimento corporal, produção ou deposição de gordura (Sakomura, 2004).

O metabolismo basal de um animal homeotérmico corresponde à energia mínima necessária para suportar a manutenção dos processos de sobrevivência, tais como o funcionamento dos órgãos, do sistema nervoso, dos tecidos, da temperatura corporal e atividade limitada em ambiente termoneuro (Blaxter, 1989).

A ELM, apesar de ser fundamental nos sistemas de energia líquida, não pode ser determinada diretamente por meios experimentais (De Lange & Birkett, 2005). Tradicionalmente, para estimar a ELM são utilizados os requerimentos de energia do metabolismo basal (EMB), representada pela PCj (Lofgreen & Garrett, 1968; Blaxter, 1989; De Lange & Birkett, 2005). A princípio, a determinação da ELM através da produção de calor do animal em jejum não seria apropriada, uma vez que representa tanto os requisitos energéticos para as funções básicas de manutenção do corpo, ou seja, os requerimentos de ATP ao nível celular somado à produção de calor proveniente da formação de ATP a partir das reservas corporais (De Lange & Birkett, 2005).

A forma mais apropriada de se obter a ELM seria através da relação  $ELM = EMB \times kb$ , na qual kb é a eficiência de conversão das reservas corporais para energia útil na forma de ATP. Entretanto, o kb possui mínima variação, pois a contribuição das reservas corporais na geração de ATP varia muito pouco nos animais em jejum com histórico nutricional semelhante fazendo com que a energia necessária para o metabolismo basal e a PCj tenham uma forte relação conceitual. Isso justifica a utilização da produção de calor em jejum como valor adotado para a energia líquida de manutenção (Birkett & De Lange, 2001).

Segundo Lofgreen & Garrett (1968), uma maneira de se avaliar a PCj é estimando o balanço energético a partir do consumo de EM e da ER. De acordo com esses autores, a PC é composta pelo metabolismo basal, pelo incremento calórico e pelo calor produzido pela atividade física. Portanto, quando não há consumo de EM, o incremento calórico é igual a zero e a PC é proveniente do metabolismo basal e das atividades voluntárias do animal, correspondendo à exigência de manutenção. Avaliando-se vários níveis de consumo é possível montar uma equação relacionando a produção de



calor ou a retenção corporal em zero de consumo de ração.

Normalmente, a PCj é medida diretamente (calorimetria direta) ou calculada pelo consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub> (calorimetria indireta). A PCj é mensurada com animais em jejum durante períodos variáveis, conforme a espécie animal (tamanho corporal e capacidade de consumo de alimento), e em temperatura ambiental de conforto ou em temperatura fixa de 24 °C.

A EMI normalmente é dividida em PC e ER em tecidos corporais, principalmente como gordura (ERG) e proteína (ERP). Desta forma a EMI = PC + ER. Em condições de termoneutralidade, a PC em frangos de corte em crescimento representa entre 52 a 64% da EMI (Van Milgen et al., 2001; Noblet et al., 2003) e está diretamente relacionada com as exigências energéticas para manutenção e processos produtivos. Van Milgen et al. (2001), subdivide a produção de calor total em três componentes principais: PCj, PC decorrente da atividade física e efeito térmico do alimento (ETA). Esses autores demonstraram, através da calorimetria indireta, que a PCj e o calor proveniente da atividade física representam de 36 a 37% da EMI em frangos de corte de 21 a 35 dias de idade, assim a energia de manutenção obtida por esses pesquisadores para frangos nesta fase encontra-se entre 152-157 kcal/kg<sup>0,60</sup>. Valores semelhantes (155 kcal/kg<sup>0,60</sup>) foram encontrados por Lopez & Leeson (2005) utilizando a técnica de abate comparativo e o mesmo modificador metabólico.

A energia para manutenção é geralmente expressa numa base de peso metabólico, a qual é definida como o peso corporal elevado à potência 0,75 (Macleod, 1990; Boekholt et al., 1994; Buyse et al., 1998). Porém, estudos recentes indicam que este expoente não é o mais adequado para prever as exigências energéticas em frangos de corte (Macleod, 1997; Van Milgen et al., 2001; Noblet et al., 2003; Lopez & Leeson, 2005). As exigências para manutenção são altamente influenciadas pelo cálculo, conseqüentemente, isso irá influenciar diretamente a partição energética entre manutenção e produção (deposição de gordura e proteína), afetando a eficiência de uso da energia. Lopez & Leeson (2005) verificaram que o uso do expoente

0,75 no cálculo do peso metabólico subestima as necessidades energéticas em frangos de corte em crescimento. Esses autores verificaram que a exigência de manutenção calculada com base no PV<sup>0,75</sup> Kg era 8% mais baixa do que os valores estimados utilizando PV<sup>0,60</sup> Kg e afirmam que o uso do expoente 0,60 é mais preciso. Contrariando Lopez & Leeson (2005), em uma compilação de dados para PCj, Noblet et al. (2015) recomendam uma atualização do expoente para expressar o peso metabólico de frangos de corte. Segundo esses autores, o expoente indicado para frangos de corte é 0,70, diferente do recomendado para outros animais (0,75).

### EFEITO DA COMPOSIÇÃO DA RAÇÃO

A composição da dieta tem influência direta sobre seu conteúdo de energia líquida, uma vez que os diferentes nutrientes não são usados com a mesma eficiência. Pirgozliev et al. (2001), demonstraram que as diferenças em energia líquida nos grãos estão correlacionadas com diferenças no desempenho de frangos em crescimento e observaram que estas diferenças não foram detectadas pelas determinações de energia metabolizável.

Segundo Noblet (2007), a eficiência energética da dieta aumenta com a adição de gordura e carboidratos e diminui com a adição de fibras e proteínas. Noblet et al. (2010) afirmam que o conteúdo de energia líquida, como uma percentagem do conteúdo de EM, corresponde à eficiência de utilização da EM para EL.

A principal diferença entre os sistemas de ED ou EM e EL é que os dois primeiros expressam o potencial energético, enquanto o último expressa a energia útil e inclui a eficiência com a qual cada nutriente pode ser utilizado. Essa eficiência é diferente entre os nutrientes. A proteína do corpo está sujeita a um processo constante de quebra e síntese e, durante esse processo, uma fração de aminoácidos é inevitavelmente perdida. A síntese proteica requer energia e a contínua quebra e síntese das proteínas do corpo aumentam o gasto energético. Assim, a proteína da dieta é utilizada com uma eficiência média de apenas 60 % para deposição de proteína corporal, enquanto que os carboidratos e gorduras são utilizados para deposição de lipídeos em aves com eficiência média de 90% e 75%, respectivamente

(De Lange & Birkett, 2005). Para MacLeod (2002), os valores de energia líquida para gordura e proteína por unidade de EM são, respectivamente, 20% maior e 20% menor em comparação com carboidratos.

Carré et al. (2002) citado por Noblet et al. (2010), trabalhando com frangos de corte dos 21 a 35 dias de idade, avaliaram 28 dietas através do abate comparativo e utilizando um valor de referência para a energia de manutenção de 120,4 kcal/kg<sup>0,6</sup>, encontraram taxas de EL/EMA de 68, 84 e 78% respectivamente para proteína, lipídeos e carboidratos.

### PROTEÍNA DA DIETA

As dietas com baixos níveis proteicos têm sido associadas com redução de perdas energéticas, pois o aumento do suprimento de proteína está diretamente relacionado com um maior “turnover” proteico (Roth et al., 1999; Van Milgen et al., 2001) e aumento do peso das vísceras (Noblet et al., 1987) com subsequente aumento da produção de calor. Além disso, a utilização de dietas com baixos teores de proteína bruta, formuladas para suprir as exigências aminoacídicas das aves, reduzem a quantidade de aminoácidos circulantes, levando a uma menor produção e excreção de nitrogênio na forma de ácido úrico, resultando em menor produção de calor, podendo melhorar a disponibilidade energética para deposição de tecidos (Silva et al., 2006). Isto ocorre porque o processo de excreção do excesso de N tem um alto custo energético. Segundo Vasconcellos et al. (2010), estima-se que para incorporar um aminoácido na cadeia proteica gasta-se em torno de quatro moles de ATP e para excretar um aminoácido são gastos de seis a 18 moles de ATP, dependendo da quantidade de N do aminoácido.

Diversos pesquisadores têm observado aumento no teor de gordura na carcaça de frangos de corte alimentados com dietas com níveis baixos de proteína bruta (PB) (Aletor et al., 2000; Silva et al., 2003; Gonzalez-Esquera & Leeson, 2005; Vasconcellos et al., 2010). Segundo esses autores, o aumento dos níveis de gordura da carcaça está relacionado à economia de energia.

Sabe-se que a proteína tem maior incremento

calórico do que os carboidratos e as gorduras.

Durante muitos anos tem sido recomendado reduzir os níveis proteicos das dietas em ambientes quentes devido ao alto incremento calórico das proteínas (Cheng et al., 1997; Musharaf & Latshaw, 1999). Desse modo, pode-se reduzir o estresse através da redução do total de calor produzido pelo animal, diminuindo ainda os prejuízos no desempenho devido ao calor (Aletor et al., 2000).

Os avanços na determinação das exigências de aminoácidos para aves e o aumento da disponibilidade dos aminoácidos sintéticos permitem que os níveis de proteína bruta das dietas sejam reduzidos, mantendo-se o suprimento de aminoácidos essenciais. Entretanto, os estudos avaliando níveis de PB têm apresentado resultados inconsistentes. Kerr & Kidd (1999), usando dietas com proteína variando de 19 a 13%, relataram que a redução de dois por cento do teor de proteína da dieta (19 para 17%) não afeta o ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) quando se adiciona metionina e lisina. Costa et al. (2001) não observaram diferença no GP das aves entre os níveis de PB avaliados, medindo o desempenho de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade alimentados com rações contendo diferentes níveis de PB (17,5; 18,0; 18,5; 19,0 ou 19,5%) e suplementadas com aminoácidos industriais. Esses autores observaram ainda uma relação inversa entre os níveis de PB na ração e o consumo de ração pelas aves, além de uma melhora na CA de frangos de corte com o aumento dos níveis de PB da ração.

De forma oposta, Sabino et al. (2004) não verificaram diferença no CR em frangos de corte alimentados com rações contendo entre 15,0 e 23,0% de PB e suplementadas com aminoácidos industriais em quantidades adequadas para o atendimento das exigências nutricionais das aves de 22 a 42 dias de idade. Contudo, eles observaram melhora na CA com o aumento dos níveis de PB da ração, e um efeito quadrático sobre o GP que aumentou à medida que os níveis de proteína aumentaram, atingindo o máximo com 21,12% de proteína bruta na ração. De maneira semelhante, Dean et al. (2006) também observaram que rações contendo 16,2% de PB e suplementadas com aminoá-

cidos sintéticos atendendo às exigências aminocídicas, proporcionaram pior GP em comparação à ração contendo 22,2% de PB.

Vasconcellos et al. (2010) observaram que a redução dos níveis de proteína bruta (21; 19 e 17 e 15% de PB) nas dietas levou a perdas de desempenho de frangos de corte machos de 21 a 42 dias de idade. Já, Oliveira et al. (2011) não encontraram efeito da redução do nível de proteína bruta (21,6; 20,6; 19,6; 18,6 e 17,6% de PB) em rações formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal e suplementada com aminoácidos industriais sobre o GP e o CR de frangos de corte, porém estes pesquisadores verificaram uma piora na CA das aves.

Avaliando o desempenho de frangos de corte no período de 23 a 44 dias de idade mantidos em ambiente de alta temperatura (32°C) e alimentados com rações com 16,0 e 20,0% de proteína bruta suplementadas com aminoácidos sintéticos, Alleman & Leclercq (1997) observaram redução no GP das aves que receberam menor teor de proteína bruta (16,0%). Temim et al. (2000), testando dietas com teores de proteína bruta variando de 10 a 33%, encontraram uma melhora no desempenho das aves quando consumiram dietas de 28 e 33% de proteína bruta, mesmo quando as aves foram criadas em estresse por calor. Faria Filho et al. (2007) observaram redução no GP de frangos de corte submetidos a estresse térmico (33°C) de 21 a 42 dias de idade consumindo rações contendo baixos teores de PB (17,0 e 18,5%), formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal, em comparação a frangos alimentados com ração com 20% de PB e sob as mesmas condições ambientais. Contudo, Oliveira et al. (2010) concluíram que o nível de proteína bruta da ração formulada utilizando-se o conceito de proteína ideal pode ser reduzido de 21,6 para até 17,6% em rações de frangos de corte machos na fase de crescimento, pois essa redução não prejudica as características de desempenho, o peso absoluto ou o rendimento de cortes nobres de frangos de corte submetidos a estresse por calor (32,2 °C).

Alguns estudos têm demonstrado ainda que dietas de baixa proteína aumentam a produção de calor. Geraert et al. (1993) citado por Furlan et al. (2004)

observaram que dietas com alto teor de proteínas (23 e 19%) foram capazes de reduzir a produção de calor em frangos de corte sob estresse térmico (32 °C) entre 3 e 9 semanas de idade. Nieto et al. (1997) citado por Furlan et al. (2004) alimentaram frangos de corte com dietas contendo 6,6 e 20% de PB do 10º ao 24º dia de idade e relataram um aumento no requerimento de energia para manutenção (966 e 824 kJ/kg<sup>0,75</sup>/dia, respectivamente). De maneira semelhante, Buyse et al. (1992) citado por Furlan et al. (2004) verificaram que a redução da quantidade de proteína bruta da dieta (20 para 15 %) aumentou a produção de calor (1,059 e 1,254 kJ/kg<sup>0,75</sup>/dia, respectivamente) em frangos de 28 dias de idade. Esses resultados foram associados ao aumento do nível plasmático do hormônio triiodotironina (T<sub>3</sub>) dos frangos alimentados com dietas de baixa proteína. De acordo com Carew et al. (1997), deficiências de aminoácidos essenciais aumentam as concentrações plasmáticas de T<sub>3</sub> e, conseqüentemente, aumentam a produção de calor das aves alimentadas com dietas de baixa proteína. Segundo estes autores, embora a deficiência de aminoácidos tenha efeitos individuais nos hormônios da tireóide, os mecanismos metabólicos pelos quais essas deficiências alteram os níveis de hormônios tireoidianos são desconhecidos.

Noblet et al. (2003), avaliando o efeito do nível de proteína bruta da dieta sobre a eficiência de utilização da EM para EL em suínos e frangos de corte machos através da calorimetria indireta, observaram que em suínos a produção de calor foi significativamente menor para os animais que receberam dieta com menor nível de PB, resultando em uma maior relação EL/EM. Contudo, a produção de calor em frangos de corte não foi afetada pelo teor de proteína bruta na dieta, conseqüentemente a eficiência de utilização da EM para EL entre as dietas foram semelhantes (Tabela 1), contrariando a hipótese de que a proteína bruta pode ser reduzida em rações para frangos de corte estressados pelo calor para redução do incremento calórico.

Além disso, Noblet et al. (2007) não conseguiram demonstrar um aumento da produção de calor em frangos de corte alimentados com dietas ricas em proteínas. Estes autores observaram que a relação EL/EM foi de, aproximadamente, 68% para frangos de corte, independentemente do nível de proteína

bruta na dieta, que variou de 22,5% a 27,3%.

**TABELA 1.** Efeito da proteína bruta da dieta sobre a utilização energética em suínos e frangos de corte em crescimento

	Suínos		Frangos	
Nível de PB na dieta	19,4%	14,5%	22,4	17,8
			%	%
Peso corporal (kg)	57.6	57.2	1.47	1.46
Balanço energético (kJ/kg <sup>0,60</sup> /dia)				
EM consumida	2,564	2,566	1626	1642
Produção de calor	1,402 <sup>A</sup>	1,346 <sup>B</sup>	862	861
Produção de calor em jejum	735	731	446	456
Incremento calórico	667 <sup>A</sup>	614 <sup>B</sup>	417	404
Valores de energia da dieta (kJ/g)				
EM	14.04	13.98	13.36	13.34
EL	10.36 <sup>A</sup>	10.61 <sup>B</sup>	10.00	10.01
EL/EM (x100)	73.9 <sup>A</sup>	75.9 <sup>B</sup>	74.8	75.0

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas

na linha são estatisticamente diferentes pela análise de variância

Fonte: Adaptado de Noblet et al., 2003.

## FIBRA NA DIETA

Os polissacarídeos não-amídicos (PNAs) são polímeros de açúcar que representam os principais componentes da parede celular dos vegetais e, devido à natureza de suas ligações, não podem ser digeridos pelos animais monogástricos, pois são resistentes à hidrólise no trato gastrointestinal (Rosa & Uttpatel, 2007).

As fibras (PNAs), dependendo da solubilidade dos seus constituintes, podem ser classificadas em solúveis e insolúveis. As fibras insolúveis são as celulosas, as ligninas e algumas hemicelulosas. As fibras solúveis são compostas por pectinas, gomas e principalmente pela hemicelulose. A hemicelulose, por sua vez, é constituída por arabinosilanos,  $\beta$ -glucanos, D-xilanos, D-mananos e xiloglucanos, entre outros.

Os efeitos deletérios das fibras são observados principalmente naquelas solúveis, uma vez que apresentam a capacidade de elevar a viscosidade da dieta e se ligar a grandes quantidades de água formando um gel viscoso (Santos Jr. et al., 2004). Como consequência, ocorre redução na taxa de difusão dos nutrientes e das enzimas digestivas, impedindo suas interações na superfície da mucosa

intestinal e levando ao comprometimento da digestão e da absorção de nutrientes. Além disso, a viscosidade da digesta interfere na microflora intestinal e nas funções fisiológicas do intestino (Choct et al., 2004). Dessa forma, os grãos de cereais que são empregados nas rações das aves são classificados em viscosos (aveia, cevada, centeio, trigo e triticale) e não viscosos (milho, sorgo, arroz e milho) (Choct, 2006).

Dependendo do nível e da origem da fibra na dieta também têm sido registrados efeitos antinutricionais em relação à eficiência de retenção da energia metabolizável. Jorgensen et al. (1996), comparando o efeito do nível e fonte de fibra sobre a utilização da energia em frangos, observou aumento na produção de calor com consequente diminuição na eficiência da retenção de energia com o aumento na fibra da dieta. O efeito foi maior com dietas à base de ervilha do que com aquelas à base de cereais, como o trigo e a aveia. Hadorn & Wenk (1996) verificaram maior redução na retenção de energia e proteína diluindo a ração com casca de soja quando comparado ao amido e ao farelo de milho.

O aumento no trato gastrointestinal e seus segmentos têm sido relacionados com o consumo de dietas fibrosas em frangos. Jorgensen et al. (1996) observaram aumento no consumo voluntário de alimento e no peso e comprimento relativo do intestino delgado e cecos de frangos com dietas de alta fibra preparadas a partir da diluição de uma dieta basal com subprodutos fibrosos de ervilha, de trigo e de aveia. O aumento no volume do trato gastrointestinal pode ser considerado como uma estratégia fisiológica relacionada ao aumento de consumo de matéria seca de dietas com menor valor calórico (Leeson et al., 1991). Além disso, é uma tentativa fisiológica para favorecer a digestão e absorção com dietas com alta viscosidade, pois a viscosidade da dieta apresenta correlação negativa com a digestibilidade de nutrientes (Francesch et al., 2002).

Pirgozliev et al. (2003) conduziram dois experimentos. No primeiro, avaliaram o efeito do trigo e da cevada sobre a eficiência de utilização de energia metabolizável verdadeira, determinada em galos, para a retenção de energia corporal em frangos de corte de 7 a 21 dias de idade. Foram



preparadas cinco dietas misturando trigo e cevada com as seguintes proporções, respectivamente, 4:0, 3:1, 2:2, 1:3 e 0:4. O segundo experimento avaliou se a alteração da viscosidade da digesta de frangos de corte (com adição de goma guar na ração a base de milho) afeta a eficiência de retenção de energia corporal. Os autores observaram uma redução ( $P < 0,001$ ) da energia metabolizável verdadeira (EMv) com o aumento da cevada na mistura, havendo uma tendência ( $P > 0,05$ ) na redução da eficiência da utilização da EMv com o aumento das proporções de cevada, em substituição ao trigo. Os autores justificam esse resultado pelo elevado teor de  $\beta$ -glucanos na cevada que eleva a viscosidade, em comparação com dietas à base de trigo. Com o segundo experimento, os pesquisadores demonstraram que o aumento da viscosidade da digesta apresenta um efeito prejudicial sobre a utilização da energia em frangos de corte.

Sarmiento-Franco et al. (2000), trabalhando com galos sob alimentação forçada e calorimetria indireta, observaram maior eficiência de utilização da energia do farelo de trigo quando comparado ao farelo de folhas de chaya (uma planta comestível de origem mexicana), que foi atribuído ao maior nível de FDA e à maior capacidade de hidratação da fibra das folhas de chaya.

Jorgensen et al. (1996) observaram aumento na PC e diminuição na ER ( $\text{kcal/kg}^{0,75}$ ) com o aumento no nível de fibra, utilizando ervilha ou trigo, na dieta de frangos alimentados à vontade. Já o aumento no nível de fibra usando aveia não alterou a ER ( $\text{kcal/kg}^{0,75}$ ). Também Hadorn & Wenk (1996), trabalhando com frangos alimentados à vontade de oito a 42 dias de idade, observaram redução na retenção de energia com a diluição de uma dieta basal com 20% de casca de soja, e aumento na retenção de energia com a diluição com 20% de amido ou farelo de milho. Esses trabalhos mostram que o efeito da fibra sobre a produção de calor e a retenção de energia é dependente de sua fonte.

Warpechowski et al. (2006) estudaram o efeito do consumo de ração com alta fibra (50% mais fibras) sobre a produção de calor e a utilização da energia metabolizável em frangos de corte (Tabela 2) e verificaram que o peso médio das aves e o consumo de energia ( $\text{kcal/kg PM}$ ) foram semelhantes para as

duas dietas, isto devido ao maior consumo verificado na ração de alta fibra. Os autores não observaram efeito significativo da dieta sobre a ER e a produção de calor total (PCT), possivelmente devido à baixa viscosidade da dieta fibrosa ( $< 2 \text{ ml/g}$ ). Entretanto, a diluição da dieta com fibra insolúvel causou grande diferença na metabolizabilidade da energia, resultando em redução de mais de 400  $\text{kcal/kg}$  na EM. Já o efeito dos fatores sobre a utilização líquida da EM (EL/EM), embora significativo, foi muito pequeno ( $< 1\%$ ), com redução no aproveitamento devido ao alto nível de fibra. Estes pesquisadores, embasados nos resultados encontrados, afirmaram que as inclusões dos ingredientes fibrosos nas rações causaram um efeito principalmente de diluição da EM, e que a viscosidade pode ter um papel importante no efeito da fibra sobre a taxa EL/EM em frangos em crescimento.

**TABELA 2.** Efeito do nível de fibra na dieta de frangos sobre balanço de energia<sup>1</sup>

Variáveis	Fibra	
	Normal	Alta
PV (Kg)	1,299	1,284
Balanço de energia ( $\text{kcal/kg}^{0,75}$ /dia)		
EM consumida	356,4	364,5
ER	139,4	140,9
PCT	217,0	223,6
PCJ	113,7	116,6
PCA	40,5	41,6
ETA	62,8	65,4
Valor energético das dietas ( $\text{kcal/kg MS}$ )		
EM	3534 <sup>a</sup>	3088 <sup>b</sup>
EL	2522 <sup>a</sup>	2179 <sup>b</sup>
EL/EM	0,714 <sup>a</sup>	0,706 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> – PV – peso vivo; EM cons - energia metabolizável consumida; ER – energia retida; PCT – produção de calor total; PCJ- produção de calor em jejum; PCA- produção de calor da atividade física; ETA- efeito térmico do alimento; EM – energia metabolizável aparente; EL – energia líquida;

Fonte: Adaptado de Warpechowski et al., 2006.

### DENSIDADE ENERGÉTICA DA RAÇÃO

O frango de corte moderno apresenta elevada taxa de crescimento, que é alcançada graças ao alto consumo de ração. Entretanto, a ingestão e o metabolismo do alimento têm um efeito termogênico, elevando a produção de calor pelas aves. Portanto, ao sofrerem estresse por calor, as aves reduzem o consumo de alimento e a eficiência digestiva, a fim de diminuir a produção de calor metabólico e manter a homeotermia (Oliveira Neto et al., 2000).

Para reduzir estes efeitos tem sido recomendada a modificação dos níveis nutricionais das rações, especialmente no que se refere ao aumento da EM para aves criadas em altas temperaturas (Raju et al., 2004). Entretanto, Campos et al. (1995) sugerem a redução da EM na ração de aves criadas em ambientes quentes, pois o aumento da energia pode contribuir negativamente para a dissipação de calor pelos frangos devido à maior quantidade de calor gerado e ao menor gradiente térmico existente entre a superfície da ave e o ambiente. Todavia, é interessante ressaltar que tem sido verificado um melhor desempenho de frangos de corte com o aumento da energia nas rações (Sakomura et al., 2004; Ghazalah et al., 2008).

Avaliando três níveis de EM (3200, 3000 e 2800 Kcal/Kg) na ração de frangos de corte submetidos a três temperaturas (17,1; 22,2 e 27,9°C), Bertechini et al. (1991) observaram que o aumento da temperatura e a redução do nível energético da ração provocaram redução do ganho de peso das aves. Estes autores observaram que, para os frangos criados na temperatura de 27,9 °C foi necessário utilizar o nível de 3200 kcal/kg para obter o mesmo ganho de peso das aves que receberam os níveis de 3000 kcal/kg em 22°C e 2800 kcal/kg em 17,1°C.

Oliveira Neto et al. (2000) observaram que o estresse por calor influenciou negativamente o desempenho, reduziu o rendimento de peito e o peso do coração, fígado, moela e intestinos, bem como aumentou a gordura abdominal de frangos de corte, independentemente do nível energético da ração (3075 e 3300 kcal de EM/kg) em frangos de corte de 22 a 42 dias de idade.

Trabalho semelhante foi realizado por Barbosa et al. (2008) para avaliar os efeitos dos níveis de EM na ração (2800, 2900, 3000, 3100 e 3200 kcal/kg) sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte de 22 a 49 dias de idade criados em condições de estresse cíclico por calor (23,5 a 36,6 °C). Estes autores não encontraram efeito dos níveis de energia da dieta sobre o ganho de peso e a conversão alimentar. Além disso, não observaram influência dos tratamentos sobre os rendimentos de carcaça, coxa, sobrecoxa, asa, tulipa, moela, coração, fígado, proventrículo e intestino. Entretanto,

esses autores verificaram que a gordura abdominal aumentou e o rendimento de peito diminuiu proporcionalmente à elevação da energia da dieta em ambiente de altas temperaturas.

Sakomura et al. (2004) observaram melhores resultados de desempenho em aves que receberam nível de energia mais alto. Esses autores estudaram o efeito dos níveis de energia metabolizável da dieta (3050, 3200 e 3350 kcal/kg) sobre o desempenho e o metabolismo energético de frangos de corte machos na fase de crescimento (22 a 43 dias de idade) em condições de temperatura ambiente e utilizando o método de abate comparativo e observaram que os níveis de energia influenciaram a ingestão de energia metabolizável (371,21; 379,67; 368,61 kcal/kg<sup>0,75</sup>/d) e, conseqüentemente, a retenção de energia na carcaça (162,11; 156,58; 160,58 kcal/kg<sup>0,75</sup>/d) e a produção de calor (209,10; 223,10; 208,03 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia), respectivamente.

Tem sido sugerido o uso de lipídeos, como fonte de energia, ao invés de carboidratos, por eles diminuírem o incremento calórico das dietas e favorecerem o desempenho das aves durante épocas de altas temperaturas ambientais (Sakomura et al., 2004; Rostagno et al., 2006). Segundo Noblet (2007), a eficiência energética da dieta aumenta com a adição de gordura e carboidratos e diminui com a adição de fibras e proteínas. Oliveira Neto et al. (1999) obtiveram melhora linear crescente para ganho de peso e conversão alimentar de frangos expostos ao calor em razão do aumento do nível de energia (3000, 3075, 3150, 3225 e 3300 kcal de EM/kg) por meio de inclusão de óleo de soja às rações.

Assim, a melhoria no desempenho associado à inclusão de óleo ou gordura na ração, pode ser atribuída ao aumento da disponibilidade dos nutrientes dos ingredientes da ração, e ao efeito extra metabólico dos lipídeos, que resulta em melhoria da eficiência energética pelo incremento da energia líquida da ração (Sakomura et al., 2004).

Em estudo utilizando calorimetria indireta, Noblet et al. (2009) analisaram a eficiência de utilização da EM para EL em duas dietas com as inclusões de 2,7 e 9,6% de lipídeos (óleo de colza) para frangos de corte de três a seis semanas de idade. Esses autores

não observaram efeito dos níveis de lipídeos sobre o ganho de peso, consumo de energia metabolizável (1875 kJ/kg<sup>0,70</sup>/dia), produção de calor total (903 kJ/kg<sup>0,70</sup>/dia), produção de calor em jejum livre de atividade física (440,5 kJ/kg<sup>0,70</sup>/dia), produção de calor relacionado à atividade física (146,5 kJ/kg<sup>0,70</sup>/dia) e efeito térmico da dieta (315,5 kJ/kg<sup>0,70</sup>/dia), sendo assim as relações EL/EM (75,3%) foram equivalentes.

Em dois experimentos, Teixeira (2015) avaliou o efeito de diferentes níveis de energia metabolizável (2980, 3080, 3180 e 3280 kcal/kg) na dieta sobre o desempenho e o balanço energético de frangos de corte na fase de crescimento submetidos a condições ambientais de termoneutralidade (23 ± 2°C) e estresse cíclico por calor (23-32 ± 2°C). Em condições de termoneutralidade, o aumento do nível de EM aumentou o GP e reduziu a CA de forma linear. Porém, os níveis de EM avaliados nas rações não foram capazes de influenciar o consumo de EMAn (331,19 kcal/kg 0,70/dia), a energia retida (126,72 kcal/kg 0,70 /dia), a produção de calor total (204,46 kcal/kg 0,70/dia), a produção de calor em jejum (128,6 kcal/kg 0,70/dia), o IC (75,9 kcal/kg 0,70/dia) e nem a eficiência de utilização da EMAn para EL (75,9%). No segundo experimento o autor observou que, em frangos estressados por calor, o nível de EM da ração não influenciou o GP, mas melhorou de forma linear a CA. Verificou também que os níveis de EM avaliados nas rações não foram capazes de influenciar o consumo de EMAn (316,93 kcal/kg 0,70/dia), a energia retida (107,56 kcal/kg 0,70/dia), a produção de calor total (209,37 kcal/kg 0,70/dia), a produção de calor em jejum (129,81 kcal/kg 0,70/dia) e a eficiência de utilização da EMAn para EL (74,5%). Entretanto, verificou que o IC reduziu até o nível estimado de 3151,72 de EM na ração e a partir deste nível o IC aumentou.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o momento, a determinação da energia líquida é, teoricamente, o melhor método para estimar a energia presente na ração. Entretanto, para aves os resultados são muitas vezes conflitantes e não mostram uma clara vantagem do método de determinação da energia líquida quando comparado ao método de determinação da energia metabolizável, o que pode ser reflexo do número limitado de estudos disponíveis sobre o assunto. Em

geral, os dados disponíveis indicam que grandes mudanças na composição da dieta não afetam a eficiência de utilização da energia metabolizável para energia líquida em frangos de corte.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALETOR, V.A.; HAMID, I.I.; NIESB, E.; PFEFFER, E. Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: Effect on performance, carcass characteristics, whole body composition and efficiencies nutrient utilization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.547-554, 2000.
- ALLEMAN, F.; LECLERCQ, B. Effects of dietary protein and environmental temperature on growth performance and water consumption of male broiler chickens. **British Poultry Science**, v.38, p.607-610, 1997.
- BARBOSA, F. J. V.; LOPES, J. B.; FIGUEIRÊDO, A. V.; ABREU, M. L. T.; DOURADO, L. R. B.; FARIAS, L. A.; PIRES, J. E. P. Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 849-855, 2008.
- BERTECHINI, A.G.; ROSTAGNO, H.S.; SILVA, M.A. Efeitos da temperatura ambiente e nível de energia da ração sobre o desempenho e a carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.3, p.219-229, 1991.
- BIRKETT, S.; LANGE, K. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. **British Journal of Nutrition**, v. 86, p. 647-659, 2001.
- BLAXTER, KL. **Energy metabolism in animal and man**. Cambridge; 1989. p. 336.
- BOEKHOLT, H.A.; VAN DER GRINTEN, P.; SCHREURS, V.V.A.M.; LOS, M.J.N.; LEFFERING C.P. Effect of dietary energy restrictions on retention of protein, fat and energy in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 35, p. 603-614, 1994.
- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. In: Blaxter K.L. **Energy Metabolism**. London: Academic Press, 1965. p. 441-443.
- BUYSE, J.; MICHELS, H.; VLOEBERGHES, J.; SAEVELS, P.; AERTS, J.M.; DUCRO, B.; BERCKMANS, D.; DECUYPERE, E. Energy

- and protein metabolism between 3 and 6 weeks of age of male broiler chickens selected for growth rate or for improved food efficiency. **British Poultry Science**, v. 39, p. 264-272, 1998.
- CAMPOS, S.S. Efeito do nível de energia da dieta sobre a perda de calor por radiação de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1995, Curitiba, PR. **Anais...**, Curitiba, PR: FACTA, 1995. p.249-258.
- CAREW, L.B.; EVARTS, K.G.; ALSTER, F.A. Growth and plasma thyroid hormone concentrations of chicks fed diets deficient in essential amino acids. **Poultry Science**, v.76. p.1398-1404, 1997.
- CHENG, T.K.; HAMRE, M.L.; COON, C.N. Responses of broilers to dietary protein levels and amino acid supplementation to low protein diets at various environmental temperatures. **Applied Poultry Science**, v.6, p.18-33, 1997.
- CHOCT, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, p. 5–15. 2006.
- CHOCT, M.; KOCHER, A.; WATERS, D.L.E.; PETTERSSON, D.; ROSS, G. A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v.92, p.53–61. 2004.
- COSTA, F.G.P.; Rostagno, H. S.; Albino, L.F.T.; Gomes, P. C.; Toledo, R.S. Níveis dietéticos de lisina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 40 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1490-497, 2001.
- DE LANGE, C. F. M; BIRKETT, S. H. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 85, p. 269-280. 2005.
- DEAN, D.W.; BIDNER, T.D.; SOUTHERN, L.L. Glycine supplementation of low protein, amino acid-supplemented diets supports equal performance of broiler chicks. **Poultry Science**, v.85, p.288-296, 2006.
- FARIA FILHO, D. E.; CAMPOS, D.M.B.; TORRES, K.A.A.; VIEIRA, B.S.; ROSA, P.S.; VAZ, A.M.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Protein levels for heat-exposed broilers: performance, nutrient digestibility, and protein and energy metabolism. **International Journal of Poultry Science**, v.6, p.187-194, 2007.
- FRANCESCH, M.; BERNARD, K.; MCNAB, J.M. Comparison of two direct bioassays using 3-week-old broilers to measure the metabolizable energy of diets containing cereal high in fibre:differences between true and apparent metabolizable energy values. **British Poultry Science**, v. 44, p. 580-587, 2002.
- FURLAN, R.L.; FARIA FILHO, D.E.; ROSA, P.S.; MACARI, M. Does low-protein diet improve broiler performance under heat stress conditions? **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, p. 71-79, 2004.
- GABARROU, J. F.; GERAERT, P. A.; FRANCOIS, N.; GUILLAUMIN, S.; PICARD, M.; BORDAS, A. Energy balance of laying hens selected on residual food consumption. **British Poultry Science**, v. 39, p. 79–89, 1998.
- GABARROU, J. F.; GÉRAERT, P. A.; PICARD, M.; BORDAS, A. Diet-induced thermogenesis in cockerels is modulated by genetic selection for high or low residual feed intake. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 2371–2376. 1997.
- GERAERT, P. A.; MACLEOD, M. G.; LECLERCQ, B. Energy metabolism in genetically fat and lean chickens: Diet- and cold-induced thermogenesis. **Journal of Nutrition**. v. 118, p.1232– 1239, 1988.
- GHAZALAH, A. A.; ABD-ELSAMEE, M. O.; ALI, A. M. Influence of dietary energy and poultry fat on the response of broiler chicks to heat therm. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, p. 355-359, 2008.
- GONZALEZ-ESQUERRA, R.; LEESON, S. Effects of acute versus chronic heat stress on broiler response to dietary protein. **Poultry Science**, v. 84, p. 1562-1569, 2005.
- HADORN, R.; WENK, C. Effect of different sources of dietary fibre on nutrient and energy utilization in broilers - 2. Energy and N-balance as well as whole body composition. **Archiv für Geflügelkunde**, v.60, p.22-29, 1996.
- JORGENSEN, H.; ZHAO, X.Q.; KNUDSEN, K.E.; EGGUM, B.O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v.75, p.379-395, 1996.
- KERR, B.J; KIDD, M.T. Amino acid supplementation of low-protein broiler diets: 1. glutamic acid and indispensable amino acid supplementation.



- Applied Poultry Science**, v. 8, p. 298-309, 1999.
- KLEIBER, M. **The Fire of Life**: an introduction to animal energetics. Rev. Ed. New York: Robert E. Krieger Publishing CO, 1975. 453p.
- LATSHAW, J.D.; MORITZ, J.S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v. 88, p. 98-105. 2009.
- LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Scott's nutrition of the chicken**. 4.ed. Guelph: University Books, 2001. p.591. LEESON, S.; SUMMERS, J.D.; CASTON, L.J. Diet dilution and compensatory growth in broilers. **Poultry Science**, v.70, p.867-873, 1991.
- LOFGREEN, G. P.; GARRETT, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing cattle. **Journal of Animal Science**, v.27, p.793-806, 1968.
- LONGO, F.A.; SAKOMURA, N.K.; RABELLO, C.B.V.; FIGUEIREDO, A.N.; FERNANDES, J.B.K. Exigências energéticas para manutenção e para o crescimento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.119-125, 2006.
- LOPEZ, G.; S. LEESON. Utilization of metabolizable energy by young broilers and birds of intermediate growth rate. **Poultry Science**, v.84, p. 1069-1076, 2005.
- MACLEOD, M. G. Effects of amino acid balance and energy: protein ratio on energy and nitrogen metabolism in male broiler chickens. **British Poultry Science**, v.38, p. 405-411, 1997.
- MACLEOD, M. G. Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 208 in rowing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents. **British Journal of Nutrition**, v.64, p. 625-637, 1990.
- MACLEOD, M. G. Energy utilization: measurement and prediction. **Poultry feedstuffs [electronic resource]: supply, composition, and nutritive value**, 2002. p. 191.
- MUSHARAF, N.A.; LATSHAW, J.D. Heat increment as affected by protein and amino acid nutrition. **World's Poultry Science Journal**, v.55, p. 233-240, 1999.
- NOBLET, J. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 277-284, 2007.
- NOBLET, J.; DUBOIS, S.; LASNIER, J.; WARPECHOWSKI, M.; DIMON, P.; CARRÉ, B.; VAN MILGEN, J.; LABUSSIÈRE, E. Fasting heat production and metabolic BW in group-housed broilers. **animal**, v. 9, p. 1-7, 2015.
- NOBLET, J.; DUBOIS, S.; VAN MILGEN, J.; WARPECHOWSKI, M.; CARRÉ, B. Heat production in broilers is not affected by dietary crude protein. **Publication-european association for animal production**, v. 124, p. 479, 2007.
- NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, p.344-354, 1994.
- NOBLET, J.; HENRY, Y.; DUBOIS, S. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.65. p.717-726. 1987.
- NOBLET, J.; VAN MILGEN, J.; CARRÉ, B.; DIMON, P.; DUBOIS, S.; RADEMACHER, M.; VAN CAUWENBERGHE, S. Effect of body weight and dietary crude protein on energy utilisation in growing pigs and broilers. **PUBLICATION-EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION**, v. 109, p. 205-208, 2003.
- NOBLET, J.; VAN MILGEN, J.; DUBOIS, S. Utilisation of metabolisable energy of feeds in pigs and poultry: interest of net energy systems?. In: **21 st ANNUAL AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM**. p. 26-35. 2010.
- NOBLET, J.; WARPECHOWSKI, M. B.; DUBOIS, S.; VAN MILGEN J.; CARRÉ, B. Influence de la teneur en matières grasses de l'aliment sur l'utilisation métabolique de l'énergie chez le poulet. **Huitièmes Journées de la Recherche Avicole**, v.9, p. 177-181, 2009.
- NOBLET, J.; KAREGE, C.; DUBOIS, S.; VAN MILGEN, J. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effect of sex and genotype. **Journal of Animal Science**, v. 77, p.1208-1216, 1999.
- OLIVEIRA NETO, A.R.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ALBINO, L.F.T.; VALERIO, S.R.; CARMO, H.M. Níveis de energia metabolizável de frangos de corte no período de 22 a 42 dias de idade mantidos em condições de estresse de calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.1054-1062, 1999.

- OLIVEIRA NETO, A.R.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ROSTAGNO, H.S.; FERREIRA, R.A.; MAXIMIANO, H. C.; GASPARINO, E. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dieta controlada e dois níveis de energia metabolizável. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p. 183-190, 2000.
- OLIVEIRA, W. P.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ALBINO, L.F.T.; MARTINS, M.S.; MAIA, A.A.P. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1725-1731, 2011.
- OLIVEIRA, W. P.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; MARTINS, M.S.; MAIA, A.A.P. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1092-1098, 2010.
- PIRGOZLIEV, V. R.; ROSE, S.P.; KETTLEWELL, P.S.; BEDFORD, M.R. Efficiency of utilization of metabolizable energy for carcass energy retention in broiler chickens fed different wheat cultivars. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, p. 99-106, 2001.
- PIRGOZLIEV, V. R.; ROSE, S.P.; REPPAS, A.; BATSON, V. The effect of different carbohydrates on the efficiency of energy utilisation in broiler chickens. **PUBLICATION-EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION**, v. 109, p. 429-432, 2003.
- RAJU, M. V. L. N.; SHYAN SUNDER, G.; CHWAK, M.M.; ROMA RAO, S.V.; SADAGOPAN, V.R. Response of naked neck (Nana) and normal (nana) broiler chickens to dietary energy levels in a subtropical climate. **British Poultry Science**, v. 45, p. 186-193, 2004.
- ROMIJN C, LOKHORST W. Some aspects of energy metabolism in birds. Proceedings of the 2nd Symposium of Energy Metabolism. No. 10. Italy: **The European Association for, Animal Production**; 1961. p. 49–58.
- ROSA, A.P.; UTTPATEL, R. Uso de enzimas nas dietas para frangos. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 8., 2007, Chapecó, SC. **Anais...** Chapecó: Embrapa Suínos e Aves. 2007. p.102-115.
- ROSTAGNO, H.S.; BÜNZEN, S.; ALBINO, L.F.T. Estratégias nutricionais para não-ruminantes em condições de estresse por calor. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2006, João Pessoa, PB. **Anais...**, João Pessoa, PB: SBZ, 2006,(CD Rom).
- ROTH, F. X.; GOTTERBARM, G.G.; WINDISCH, W.; KIRCHGESSNER, M. Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 81, p. 232-238, 1999.
- SABINO, H.F.N.; SAKOMURA, N.K.; NEME, R.; FREITAS, E.R. Níveis protéicos na ração de frangos de corte na fase de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v.39, p.407-412, 2004.
- SAKOMURA, N. K. Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, p. 1-11, 2004.
- SAKOMURA, N. K.; LONGO, F.A.L.; RABELLO, C.B.V.; WATANABE, K.; PELÍCIA, K.; FREITAS, E.R. Efeito do nível de energia metabolizável da dieta no desempenho e metabolismo energético de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1758-1767, 2004.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007, 283p.
- SANTOS JR, A. A.; FERKET, P.R.; GRIMES, J.L.; EDENS, F.W. Dietary pentosanase supplementation of diets containing different qualities of wheat on growth performance and metabolizable energy of turkey poults. **International Journal of Poultry Science.**, v. 3, p. 33-45, 2004.
- SARMIENTO-FRANCO, L.; MACLEOD, M. G.; MCNAB, J. M. True metabolisable energy, heat increment and net energy values of two high fibre foodstuffs in cockerels. **British Poultry Science**, v. 41, p. 625-629, 2000.
- SIBBALD, I.R. Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.62, p.983-1048, 1982.
- SILVA, J.H.V.; ALBINO, L.F.T.; NASCIMENTO, A.H. Estimativas da composição anatômica da carcaça de frangos de corte com base no nível de proteína

- da ração e peso da carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.344-352, 2003.
- SILVA, Y. L., RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.; BERTECHINI, A.G.; FIALHO, E.T.; FASSANI, E, J.; PEREIRA, C.R. Redução de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. Desempenho e teores de minerais na cama. **Revista Brasileira de Zootecnia** , v. 35, p. 840-848, 2006.
- SWENNEN, Q.; JANSSENS, G.P.; DECUYPERE, E.; BUYSE, J. Effects of substitution between fat and protein on feed intake and its regulatory mechanisms in broiler chickens: energy and protein metabolism and diet-induced thermogenesis. **Poultry Science**, v. 83, p. 1997-2004, 2004.
- TACHIBANA, T.; MORIYAMA, S.; KHAN, M. S. I.; SAKAMOTO, T. Central administration of prolactin-releasing peptide shifts the utilities of metabolic fuels from carbohydrate to lipids in chicks. **Physiology and Behavior**, v. 120, p. 40–45, 2013.
- TACHIBANA, T.; OIKAWA, D.; ADACHI, N.; BOSWELL, T.; FURUSE, M. Central administration of alpha-melanocyte-stimulating hormone changes lipid metabolism in chicks. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 148, 408–412. 2007.
- TEIXEIRA, M.P.F. **Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte em ambiente de conforto térmico ou sob estresse por calor**. 2015. 110 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- TEMIM, S.; Chagneau, A.M.; Guillaumin, J.; Michel, J.; Peresson, R.; Tesseraud, S. Does excess dietary protein improve growth performance and carcass characteristics in heat-exposed chickens?. **Poultry Science**, v. 79, p. 312-317, 2000.
- VAN DER KLIS, J.D.; KWAKERNAAK, C. Energy evaluation in poultry: towards a net energysystem? In: **CONFERENCE SPONSORS**. 2008. p. 98.
- VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S.; CARRE, B.; JUIN, H. Utilization of metabolizable energy in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 80, p. 170, 2001.
- VASCONCELLOS, C.H.F.; FONTES, D.O.; VIDAL, T.Z.B.; LARA, L.J.C.; RODRIGUES, P.B.; VASCONCELOS, R.J.C. Efeito de diferentes níveis de proteína bruta sobre o desempenho e composição de carcaça de frangos de corte machos de 21 a 42 dias de idade. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1039-1048, 2010.
- WARPECHOWSKI, M.B.; DUBOIS, S.; KESSLER, A.M.; CARRÉ, B.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partição da produção de calor em frangos de corte sob dieta com alto nível de fibra. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2006, João Pessoa, PB. **Anais...**, João Pessoa, PB: SBZ, 2006, (CD Rom).
- WOLYNETZ, M.S.; SIBBALD, I.R. Need for comparative slaughter experiments in poultry research. **Poultry Science**, v. 66, p.1961-1972, 1987.
- ZEMAN, M.; BUYSE, J.; HERICHOVA, I.; DECUYPERE, E. Melatonin decreases heat production in female broiler chickens. **Acta Veterinaria Brno**, v. 70, p. 15–18. 2001.