



**MÔNICA ANDREINA RODRIGUEZ MONTES DE OCA**

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE VALORES  
ENERGETICOS EM ALIMENTOS PARA  
GATOS**

**LAVRAS – MG**

**2016**

**MÔNICA ANDREINA RODRIGUEZ MONTES DE OCA**

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE VALORES ENERGÉTICOS EM  
ALIMENTOS PARA GATOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição de Monogástricos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Márcio Gilberto Zangeronimo  
Orientador

Profa. Dra. Flávia Maria de Oliveira Borges Saad  
Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oca, Mônica Andreina Rodriguez Montes de.  
Equações de predição de valores energéticos em alimentos para  
gatos / Mônica Andreina Rodriguez Montes de Oca. – Lavras :  
UFLA, 2016.  
61 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2016.  
Orientador: Márcio Gilberto Zangeronimo .  
Bibliografia.

1. Energia metabolizável. 2. Digestível. 3. Regressão. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**MÔNICA ANDREINA RODRIGUEZ MONTES DE OCA**

**EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE VALORES ENERGÉTICOS EM  
ALIMENTOS PARA GATOS**

**PREDICTION EQUATIONS FOR ENERGY VALUES IN FEEDS FOR  
CATS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição de Monogástricos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de agosto de 2016.

Prof. Dra. Flavia M. Borges de Oliveira Saad UFLA

Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima UFLA

Prof. Dra. Janine França UFU

Prof. Dr. Márcio Gilberto Zangeronimo  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2016**

*Aos meus pais, Rafael Rodriguez e Xiomara Montes de Oca, pela educação, esforço, amor incondicional, apoio emocional e financeiro, os quais me permitiram estudar durante tanto tempo distante de casa.*

*Aos meus irmãos, Patricia Rodriguez e Ricardo Rodriguez, pelo amor e apoio emocional na distância e por cuidar de meu cachorro Toby em minha ausência.*

*A meu amigo de quatro patas, Toby.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre em minha vida, por ter guiado meus passos e ter permitido chegar até aqui.

À professora, Dra. Flávia Maria de Oliveira Borges Saad, pela oportunidade, orientação, amizade, paciência, exemplo de profissionalismo e estímulo à pesquisa científica.

Ao professor, Dr. Márcio Gilberto Zangeronimo, pela imensa contribuição com sua orientação e infinita paciência na realização deste projeto.

Ao professor Tarcísio pela ajuda na análise estatística dos dados.

À empresa VENALCA, pela oportunidade única e pelo financiamento de meus estudos.

À Universidade Federal de Lavras, à Pós-Graduação em Zootecnia e ao Departamento de Zootecnia, pela realização do curso e abrir suas portas a uma estrangeira.

A meu namorado Fabian Diaz, por me ajudar em todos os momentos em que pensei que não fosse capaz. Obrigada, pelo amor, apoio, paciência e imensa torcida.

Às amigas da Venezuela, Princesa, Robelys, Karina, Linda e Thais, pela amizade, apoio imenso e força. Apesar da distância, vocês sempre aportaram muitas alegrias.

A meus amigos, Lufe, Edwin, Jordano e à toda a comunidade estrangeira pela amizade, apoio e carinho que fez sentir-me em casa.

À minha amiga Julia pela infinita ajuda desde minha chegada ao Brasil, você foi minha irmã Brasileira “A vida é Jessica...”

Ao NENAC, pois, mais que um grupo de estudo, é onde encontrei minhas primeiras amigas no Brasil. Serei eternamente grata a todos os

integrantes e ex-integrantes que foram pacientes com meu sotaque e contribuíram para meu conhecimento.

Às amigas da Pós-graduação Chary, Lívia, Karen, Moara e Roberta pela ajuda, amizade e paciência.

Aos demais amigos que sempre torceram por minhas conquistas e estiveram presentes em vários momentos felizes de minha vida.

MUITO OBRIGADA a todos que me ajudaram na realização desse projeto!

## RESUMO GERAL

O conhecimento dos valores energéticos e de digestibilidade dos alimentos são importantes para o correto balanceamento das rações para gatos. Além disso, o teor energético dos alimentos interfere diretamente no consumo e, conseqüentemente, no atendimento das necessidades nutricionais desses animais. Nesse sentido, vários métodos têm sido propostos para determinar o conteúdo energético dos alimentos, dentre eles o uso de equações de predição a partir da composição química dos mesmos. Entretanto, as equações de predição utilizadas para o cálculo dos valores energéticos dos alimentos necessitam de maior acurácia. Assim, objetivou-se com este estudo elaborar e validar equações de predição de energia metabolizável (EM) e energia digestível (ED) de alimentos completos para gatos. Foram utilizadas a composição química e energética de 38 alimentos completos obtidos em diferentes trabalhos realizados no período de 2010 a 2015. As equações foram estimadas, por meio de regressões lineares múltiplas, utilizando-se o método *stepwise*. Em seguida, as equações obtidas foram validadas juntamente com algumas equações da literatura. Para a seleção das melhores equações, foram considerados o valor de probabilidade (t de Student) para a hipótese nula, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os valores de erros (MAD, MAPE e m.s.e) e o *bias*. Embora a maioria das equações propostas tenham apresentado uma tendência de superestimação de valores, todas podem ser utilizadas para prever o valor energético de alimentos. As melhores equações avaliadas foram  $EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76$  apresentadas no presente estudo e a equação  $EM = 75EE + 2766$  apresentada na literatura.

**Palavras-chave:** Energia metabolizável. Energia digestível. Felinos. Regressão linear múltipla.



## GENERAL ABSTRACT

The knowledge of energy and digestibility values of food is important for the adequate balance of feeds for cats. In addition, the energy content of the food directly interferes in consumption and, consequently, in meeting the nutritional needs of these animals. In this sense, many methods have been proposed to determine the energy content of food, among which is the use of prediction equations based on chemical composition of the food. However, the prediction equations used for calculating energy values need better accuracy. Therefore, with this study, we aimed at elaborating and validating prediction equations for metabolisable energy (ME) and digestible energy (DE) of complete feeds for cats. The chemical and energy composition of 38 complete feeds obtained in different works conducted in the period from 2010 to 2015 were used. The equations were estimated by multiple linear regressions, using the stepwise method. Subsequently, the obtained equations were validated along with equations found in literature. For selecting the best equations, the probability value (t Student) for the null hypothesis, the coefficient of determination ( $R^2$ ), the error values (MAD, MAPE and m.s.e) and bias were considered. Despite most equations proposed presenting a tendency for value overestimation, all can be used to predict the energy values of food. The equations best evaluated were  $ADE = 47.24PB + 32.52EE - 81.27MM + 2531.76$ , presented in this study, and  $ME = 75EE + 2766$ , presented in literature.

**Keywords:** Metabolisable energy. Digestible energy. Felines. Multiple linear regression.

## LISTA DE FIGURAS

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO

- Figura 1 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores preditos pela equação  $EMA = 99,77FB + 1,40EB - 3242,68$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural. ....47
- Figura 2 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EMA = 30,58PB + 49,79EE - 68,115MM + 2473,99$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.....47
- Figura 3 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EMA = 93,7FB + 1,39EB - 2944$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria seca. ....48
- Figura 4 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 1,25EB - 42,212MM - 1726,68$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural. ....49
- Figura 5 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 47,24PB + 32,53EE - 81,27MM + 2532,76$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.....49
- Figura 6 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 1,47EB - 104MM - 59,97ENN - 76,27EE - 35,64PB + 2500,76$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria seca. ....50
- Figura 7 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EM = 75EE + 2766$  proposta por Kuhlman et al. (1993). ....51

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO

- Tabela 1 – Composição bromatológica, coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e valores energéticos, na matéria seca, dos 38 alimentos completos para gatos.....36
- Tabela 2 – Composição bromatológica e valores energéticos, na matéria seca, dos 16 alimentos completos para gatos. ....38
- Tabela 3 – Equações de predição de literatura utilizadas para a estimação de valores da energia metabolizável dos alimentos para gatos. ....38
- Tabela 4 – Equações de predição dos valores energéticos de alimentos para gatos determinados a partir de 38 alimentos selecionadas de acordo pelo teste de F ( $P>0,10$ ). ....42
- Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros intercepto e coeficiente angular e valores de probabilidade dos testes t aplicados na validação das equações de predição. ....43
- Tabela 6 – Parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia de equações de predição de valores energéticos de alimentos para gatos avaliados com 16 alimentos completos para gatos. ....44
- Tabela 7 – Ranqueamento das equações de predição de acordo com parâmetros de adequabilidade de ajuste e acurácia obtidos a partir de 16 alimentos completos para gatos. ....45

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	13
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
<b>2.1 Aspectos da legislação e características dos alimentos comerciais para gatos</b> .....	15
<b>2.2 Fatores que influenciam a digestibilidade dos nutrientes</b> .....	17
<b>2.3 Valor energético dos alimentos</b> .....	19
<b>2.4 Equações para predizer o valor energético dos alimentos</b> .....	21
<b>3 CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	25
<b>REFERENCIAS</b> .....	27
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGO</b> .....	31
<b>ARTIGO 1 EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE ENERGIA METABOLIZAVEL EM ALIMENTOS COMPLETOS PARA GATOS</b> .....	31

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O crescimento do mercado PET faz com que o mesmo seja cada vez mais atrativo para os pesquisadores. Atualmente, o Brasil é o terceiro colocado mundial nesse segmento. Em pesquisas realizadas pela ABINPET (Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação), o país faturou, em 2015, R\$ 18 bilhões contra 16,4 bilhões no ano anterior, ou seja, um crescimento de 9,76% (ABINPET, 2016). No entanto, a legislação ainda apresenta alguns problemas que dificultam a avaliação de alimentos utilizados para cães e gatos. Um deles é a ausência de informações precisas nos rótulos das embalagens de rações comerciais. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA<sup>1</sup>) só exige a mensuração dos valores de máximo ou mínimo de nutrientes, sendo que os mesmos não refletem de maneira precisa a qualidade dos ingredientes utilizados nos produtos. Os valores de digestibilidade e o conteúdo energético de cada ingrediente e também do produto final são fatores importantes para o correto balanceamento e, conseqüentemente, para o bom aproveitamento da dieta pelos animais.

Sabe-se que o valor energético dos alimentos pode variar de maneira significativa em função do tipo e da quantidade de nutrientes que os compõem, a qualidade da fibra, o processamento e a digestibilidade dos nutrientes. Além disso, fatores inerentes ao animal também podem influenciar o aproveitamento da dieta, tais como a espécie, a idade, a raça, o estado fisiológico, a atividade física, a saúde e, até mesmo, as características individuais dos animais.

Na prática, o maior problema é a mensuração dos valores energético dos alimentos, que são expressos em energia digestível (ED) ou metabolizável (EM). A determinação correta desses valores depende de ensaios *in vivo* e de

---

<sup>1</sup> <http://www.agricultura.gov.br/>

equipamentos específicos, os quais demandam tempo e custo. Dessa forma, diferentes métodos indiretos têm sido propostos para estimar o conteúdo energético dos alimentos PET. Nesse sentido, a disponibilidade de equações de predição dos valores de energia a partir da composição química dos alimentos pode ser uma importante ferramenta para estimar, de maneira rápida e com menor custo, os valores de ED e EM de alimentos comerciais para gatos. No entanto, apesar de existirem informações nutricionais científicas em publicações contidas no *National Research Council* e na *Association of American Feed Control Official*<sup>2</sup>, ainda são escassas as pesquisas com estimação de energia por equações de predição em alimentos para gatos. Assim, objetivou-se, com esse trabalho, elaborar e validar equações de predição para energia digestível e energia metabolizável de alimentos comerciais para gatos.

---

<sup>2</sup> <http://www.aafco.org/>

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Aspectos da legislação e características dos alimentos comerciais para gatos**

Atualmente, existe um grande número de empresas com suas respectivas marcas de alimentos para animais de companhia e que buscam atender às necessidades dos animais e de seus clientes. De acordo com Gabbi, Cypriano e Piccinin (2011), a matéria-prima e as rações que são destinadas à alimentação animal já alcançaram padrões de qualidade semelhantes aos de produtos destinados ao consumo humano. Nesse sentido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem a função de controlar essa qualidade por meio de Decretos e Instruções Normativas elaboradas ao longo dos anos.

O Decreto nº 76.986 de 6 de janeiro de 1976 regulamenta a Lei nº 6.198, de 26 de dezembro de 1974, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização dos produtos destinados à alimentação animal e dá outras providências. Porém, o tipo de matéria-prima que compõe esses produtos, bem como suas composições nutricionais eram determinadas pela própria indústria (CARCIOFI et al., 2009). Posteriormente, a Instrução Normativa Nº 9, publicada em 09 de julho de 2003, passou a regulamentar os alimentos industriais completos destinados a cães e gatos, seus padrões de identidade e qualidade, bem como fixar limites máximos e mínimos em relação aos parâmetros de qualidade, que passaram a ser obrigatoriamente seguidos pelas indústrias (BRASIL, 2003). Em 2009, a Instrução Normativa Nº 30 de 05 de agosto desse mesmo ano estabeleceu procedimentos para rotulagem de produtos destinados à alimentação de animais de companhia (BRASIL, 2009). Segundo Santos et al. (2013), as instituições, os pesquisadores e os produtores consideram a IN30 como uma iniciativa de grande importância, por trazer autocontrole e autorregulamentação à indústria.

Quanto às recomendações nutricionais para gatos, as tabelas do National Research Council (NRC, 2006) referem-se às concentrações mínimas de nutrientes biodisponíveis necessárias tanto para o crescimento do animal quanto para a manutenção de um adulto. No entanto, segundo Morris e Rogers (1994), o primordial para o balanceamento de alimentos comerciais completos deve ser não só as necessidades de nutrientes biodisponíveis, mas também a composição dos ingredientes em uso e a biodisponibilidade dos nutrientes contidos em cada ingrediente da dieta.

Sabe-se que, quanto maior a biodisponibilidade de um nutriente, menor quantidade desse na dieta é necessária para o atendimento das exigências dos animais. Dessa forma, alimentos que apresentam menor quantidade de proteínas e gorduras devem ter maior biodisponibilidade desses nutrientes. Além disso, deve-se considerar também o valor energético dos alimentos, bem como a relação entre aminoácidos (BORGES, 2002). Normalmente, os gatos apresentam maior requerimento de proteína do que cães, provavelmente em razão da alta exigência de nitrogênio para manutenção (MACDONALD; ROGERS; MORRIS, 1984). Em termos gerais, o NRC (2006) define 41 nutrientes essenciais para esses animais, enquanto que a *Association of American Feed Control Official* (AAFCO, 2014) lista 46 dentre carboidratos, aminoácidos, lipídeos, vitaminas e minerais.

Atualmente, o mercado PET encontra-se segmentado em produtos Básico, *Standard*, *Premium* e *Superpremium*. Algumas empresas utilizam, de forma comercial, classificação intermediária como *Premium plus* (ou especial) para valorizar componentes e aditivos empregados em seus produtos. Nessa classificação, alimentos Básicos são aqueles que competem por preço, apresentam teores nutricionais geralmente mais baixos e ingredientes de baixo custo. Já os alimentos *Standard* e *Premium* apresentam melhor seleção de ingredientes e maiores concentrações de nutrientes, favorecendo uma melhor



nutrição. Produtos *Superpremium* são formulados com ingredientes de melhor qualidade, no qual apresentam ótima matriz nutricional e incorporam, na maior parte das vezes, ingredientes funcionais (CARCIOFI et al., 2009).

Quando se avalia um alimento para animais, deve-se considerar a sua densidade energética, visto que ela vai afetar diretamente a quantidade de alimento que deve ser administrado para satisfazer as necessidades energéticas do animal. O custo real de uma ração de maior qualidade é, geralmente, igual ou inferior ao de um produto de menor qualidade porque é administrada em uma quantidade menor (CASE; CAREY; HIRAKAWA, 1998).

## **2.2 Fatores que influenciam a digestibilidade dos nutrientes**

A variação da digestibilidade dos nutrientes contidos nos produtos comerciais para gatos é bastante significativa, ou seja, os níveis de garantia de um alimento não podem assegurar a qualidade. Para isso, é necessário o estabelecimento de critérios de digestibilidade para a classificação dos produtos, onde aqueles que apresentem maiores valores devem ter mais qualidade.

A digestibilidade aparente é definida como sendo a diferença entre a quantidade de nutrientes ingerida e a quantidade de nutrientes contida nas fezes (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). Pode ser avaliada, por meio de ensaios *in vivo* na espécie animal em questão, extrapolados, a partir de dados obtidos com outras espécies ou então estimados a partir de modelos matemáticos como equações de predição baseada na composição química dos alimentos (CASE; CAREY; HIRAKAWA, 1998). O problema é que essa medida não considera elementos que não são de origem dietética, como enzimas, bactérias e descamações da mucosa intestinal. Também não considera os nutrientes que, após serem absorvidos, retornam ao lúmen intestinal (YOUNG; LOW; CLOSE, 1991). A determinação *in vivo*, embora tecnicamente fácil de implementar, requer uso dos animais e é muito onerosa e demorada para ser usada, durante a

rotina de controle de qualidade em fábricas de ração. Por outro lado, modelos matemáticos podem subestimar ou superestimar os valores, sendo necessários mais estudos nessa área.

Diversos fatores podem influenciar no aproveitamento dos nutrientes de uma dieta: a espécie do animal (cães ou gatos), idade, raça, estado fisiológico, intensidade de atividade física, saúde e até mesmo, características individuais dos animais (CASTRILLO; HERVERA; BAUCCELLS, 2009). Os gatos, particularmente, possuem diferenças anatômicas e fisiológicas que influenciam diretamente na digestão e aproveitamento dos nutrientes (NRC, 2006). Segundo Laflamme (2010), esses animais possuem o estômago reduzido (cerca de metade) se comparado a um estômago de um cão com tamanho corporal semelhante. Essa característica é consistente com o comportamento alimentar de um animal que se alimenta de pequenas porções várias vezes ao dia. Além disso, o trato intestinal é mais curto, sendo compensado por uma maior área de superfície de absorção da mucosa. Assim, a dieta de um gato deve ser concentrada e altamente digestível, porque sua digestão é relativamente rápida (DAVENPORT, 2007).

De acordo com Rooney e Pflugfelder (1986), a digestibilidade dos nutrientes pode ser afetada pela forma física das rações, interações entre nutrientes, integridade dos grânulos de amido e pela presença de fatores antinutricionais, como o tanino. Assim, o tipo de processamento industrial dos alimentos e a composição da dieta estão relacionados com a digestibilidade (CASTRILLO; HERVERA; BAUCCELLS, 2009).

Além dos fatores relacionados à dieta, fatores relacionados ao animal e ao ambiente em que vivem também podem influenciar a digestibilidade. Harper (1998) e Taylor, Adams e Neville (1995) citam que os gatos apresentaram redução da digestibilidade da gordura e energia com o avançar da idade. Com relação ao sexo, as diferenças ainda são pouco estudadas.

Dessa forma, em função de todos os fatores que podem influenciar a digestibilidade dos nutrientes, torna-se importante a contínua atualização dos valores de composição química e de digestibilidade dos nutrientes contidos nas dietas para gatos.

### **2.3 Valor energético dos alimentos**

A energia presente nos alimentos é um dos fatores mais importantes na nutrição animal (RODRIGUES et al., 2002). Se a energia não for adequadamente suprida para atender às necessidades dos animais, os mesmos não terão o desenvolvimento esperado (CASE; CAREY; HIRAKAWA, 1998) e poderão ter a saúde comprometida.

A energia bruta contida nos alimentos é aquela que é liberada na forma de calor quando os mesmos são completamente oxidados. Pode ser expressa em calorias (cal) ou em joules (J). Os fornecedores de energia para o organismo animal são os carboidratos, lipídeos, proteínas e parte da fibra contida nos alimentos (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

De acordo com o NRC (2006), a energia digestível (ED) é definida como sendo a energia contida na dieta subtraída da energia perdida nas fezes, enquanto que a energia metabolizável (EM) é a ED subtraída da energia contida na urina. A energia líquida EL é obtida pela subtração da EM pela perda energética na forma de calor, resultando na energia realmente utilizada para a manutenção do organismo. Nos monogástricos, a quantidade de metano produzida durante a digestão é pequena. Sendo assim, a energia oriunda dos gases da digestão normalmente é omitida nos cálculos da EM (NUNES, 1998). Segundo Matterson et al. (1965) citado por Sakomura e Rostagno (2007), a preferência na utilização dos valores de EM ao invés da EL justifica-se pela facilidade de obtenção do primeiro em relação ao segundo.

De acordo com a AAFCO (2014), os fabricantes podem determinar o conteúdo energético nos alimentos utilizando ensaios de digestibilidade *in vivo*, obtendo-se os valores energéticos contido nas fezes e urina ou a partir dos fatores modificados de Atwater (3,5 kcal/g provenientes de extrativo não nitrogenado, 3,5 kcal/g de proteína e 8,5 kcal/g de lipídeos). Entretanto, a utilização desses fatores conduz a uma superestimação dos valores energéticos para dietas com digestibilidades menores que 90% de lipídeos, 85% de extrativo não nitrogenado e 80% de proteínas. A EM também pode ser calculada a partir da ED obtida em ensaios de digestibilidade. Em gatos, a perda de energia na urina é estimada como sendo de 0,9 kcal por gramas de proteína bruta digestível. Em qualquer caso, a AAFCO recomenda a utilização de ensaios de digestibilidade para estimar a EM, utilizando ou não o fator de correção pela perda de energia na urina e, assim, garantir que o valor indicado na embalagem não ultrapasse, nem seja menor do valor real de energia (CASE; CAREY; HIRAKAWA, 1998).

Sakamura e Rostagno (2007) citam ainda o método por refletância em infravermelho próximo (NIRS). Esse sistema tem sido usado nos últimos anos como rotina nos laboratórios para determinar os componentes químicos dos alimentos por ser rápida e não necessitar reagentes químicos para análise. No entanto, poucos estudos foram publicados utilizando NIRS como ferramenta de avaliação da composição e valor nutritivo de alimentos. As principais desvantagens são a necessidade de mais dados *in vivo* para a calibração do aparelho e o alto custo do instrumento de espectroscopia. Também pode haver dificuldades na transferência de calibrações entre instrumentos (GIVENS; DEAVILLE, 1999).

## 2.4 Equações para prever o valor energético dos alimentos

A primeira equação de predição de EM com base na composição química dos alimentos foi proposta mais de 100 anos atrás por Rubner (1885) na Alemanha e por Atwater (1910) nos EUA. Elas basearam-se no calor de combustão de proteína, gordura e hidrato de carbono, corrigido para perdas na digestão, absorção e excreção urinária de energia. Rubner (1885) propôs fatores de 4,1, 9,3 e 4,1 kcal por grama de proteína, gordura e carboidratos, respectivamente. Posteriormente, Atwater (1910) sugeriu que os fatores simplificados 4, 9 e 4 kcal de EM por grama de proteína, gordura e hidratos de carbono, respectivamente, fossem utilizados. Kienzle (2002), em sua revisão, relatou que o primeiro modelo (4,1 - 9,3 - 4,1) foi utilizado para a estimativa de EM com dados obtidos principalmente das dietas à base de carne, ou seja, a fibra não foi levada em consideração nessa equação. Posteriormente, esses valores foram simplificados (4 - 9 - 4) para dietas de alta digestibilidade (aproximadamente 98% para carboidratos e gordura e 90% para proteína). Geralmente, a digestibilidade dos nutrientes de alimentos processados para animais de estimação é menor que 90%. Consequentemente, os fatores de Atwater (1910) superestimam a EM dos alimentos PET (KENDALL; BURGER; SMITH, 1985; KENDALL; SMITH; HOLME, 1982; NRC, 2006).

Assim, os fatores foram modificados pela AAFCO (2014) para 3,5, 8,5 e 3,5 kcal/ g de proteína, gordura e hidrato de carbono, respectivamente. Atualmente esses fatores ainda são aceitos pela AAFCO (2014) como um método para determinar a EM de alimentos para cães e gatos. Yamka et al. (2007) testaram os fatores de Atwater modificados em alimentos para cães com diferentes conteúdos de proteína, tendo ainda como objetivo utilizar dados individuais para desenvolver uma equação, com base na composição química do alimento. Esses autores acreditavam que o conteúdo de proteína bruta (PB), por estar presente em maior proporção (20 a 30% da matéria seca (MS) na dieta),

contribuiria mais no conteúdo total de energia. Esses fatores subestimaram os valores de energia, mas equações dividindo a proteína bruta em compostos aminoácidos e não aminoácidos resultaram em melhores predições de valor energético em comparação aos fatores de Atwater modificados. Além disso, esses fatores não refletem as complexas inter-relações entre os diversos nutrientes. Fahey et al. (1990) e Silvio et al. (2000) relatam que parte da fibra é fermentada no intestino grosso e tem efeito na digestibilidade aparente da proteína bruta, gordura e extrativo não nitrogenado. Earle et al. (1998), em seu trabalho com gatos, mostraram que a digestibilidade aparente da energia bruta (EB) e da matéria orgânica tiveram correlação negativa com a inclusão de fibra bruta. O uso de conteúdo de fibra bruta na equação para predição da energia digestível abrange uma ampla gama de alimentos completos para cães e gatos (NRC, 2006). Já Kienzle et al. (1998a) propuseram equações para estimar a digestibilidade aparente da energia a partir de teor de fibra. Esses autores propuseram primeiramente equações para predizer a EB que, por sua vez, estimaram com sucesso valores próximos aos valores obtidos por meio de combustão em bomba calorimétrica. Com isso, a ED poderia ser calculada pelo coeficiente de digestibilidade a partir da fibra bruta. O método foi validado e sugerido pelo NRC (2006) em uma sequência de passos: (1) Energia bruta do alimento em bomba calorimétrica estimada pela fórmula:  $EB \text{ (kcal/kg)} = (5,7 \times \text{g proteína bruta, PB}) + (9,4 \times \text{g extrato etéreo, EE}) + [4,1 \times (\text{g extrativo não nitrogenado, ENN} + \text{g fibra bruta, FB})]$ ; (2) Coeficiente de digestibilidade da energia (CDE, %) =  $87,9 - (0,88 \times \text{porcentagem de FB na matéria seca})$ ; (3) Energia digestível (ED, kcal/kg) =  $EB \times \text{CDE}/100$  e (4) Energia metabolizável (EM, kcal/kg) =  $ED - (0,77 \times \text{g PB})$ .

A elaboração de equações incluindo apenas a EB ou extrato etéreo (EE) como variáveis independentes puderam predizer a EM e a ED com razoável precisão (KUHLMAN; LAFLAMME; BALLAM, 1993). Isso porque a gordura

tem cerca de duas vezes o conteúdo de energia que a proteína da dieta e hidratos de carbono. Portanto, acredita-se que o EE seja o principal nutriente que influencia os valores de EM da dieta. Além disso, as dietas que são mais elevadas em gordura tendem a ter maiores valores de digestibilidade total. Sendo assim, dietas com alto teor de gordura são muitas vezes formuladas para animais com requisitos de alta energia e baixa inclusão de fibra (CASTRILLO; HERVERA; BAUCCELLS, 2009).

Kuhlman, Laflamme e Ballam (1993) testaram, com 14 alimentos secos para gatos, as equações propostas por Kendall, Smith e Holme (1982),  $EM = 0,99EB - 1,260$  e Kendall Burger e Smith (1985),  $EM = 0,84EB - 0,60$  e  $EM = 3,98EE + 2,60$ . Os valores foram subestimados em 10%, 12% e 18% respectivamente.

Laflamme (2001), realizou diferentes experimentos com alimentos enlatados e secos para cães e gatos, onde avaliaram as equações de Kendall, Burger e Smith (1985); Kienzle et al. (1998b); Kuhlman, Laflamme e Ballam (1993) e os fatores modificados de Atwater. Esses autores observaram que, tanto os fatores modificados quanto a equação proposta por Kendall, Burger e Smith (1985) subestimaram em 15,5% e 12,1%, respectivamente, os valores energéticos dos alimentos para gatos. Os melhores resultados foram com as equações de Kuhlman, Laflamme e Ballam (1993) utilizando EB e EE como variáveis independentes. Castrillo, Hervera e Baucells (2009) relatam que as equações propostas por Kuhlman et al. (1993), em geral, apresentam uma precisão razoável, embora superestimam a EM de alta fibra e alimentos de baixa energia. Os autores explicam que a superestimação da EM em dietas de alto teor de fibras é esperada porque equações com base somente na EB ou EE não fazem discriminação entre carboidratos disponíveis e indisponíveis.

Hall, Melendez e Jewell (2013) realizaram um experimento com 227 alimentos secos e úmidos para gatos e obtiveram a equação de predição  $EM =$

$0,923EB + 14,68EE - 44,31FB - 4,21PB + 4,80UM - 541$  com coeficiente de determinação muito próximo de 1. Os autores consideraram importante a inclusão da EB, umidade (UM), PB, EE e FB, porém, a validação desse trabalho não ficou clara se foi feita com os mesmos valores utilizados para elaboração das equações ou não.

Atualmente, as equações de predição que são habitualmente utilizadas para o cálculo de EM dos alimentos comerciais para animais de estimação são as indicadas pelo *National Research Council* (NRC, 2006) e *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO, 2014). Não há uma equação de predição universal que se ajuste a todos os alimentos comerciais de gatos, uma vez que a digestibilidade de seus macronutrientes, apresentam variações de menos de 70 a mais de 90%. Dessa forma, uma importante questão a ser considerada antes de utilizar qualquer equação é validá-la para o alimento em questão (NRC, 2006).

Os alimentos para animais de companhia constantemente mudam seus ingredientes e formulações. Nesse sentido, elaborar e validar novas equações e compará-las com as encontradas na literatura são importantes para avaliar alimentos comerciais para gatos.



### **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Os ensaios de digestibilidade são a opção mais confiável para a determinação dos valores energéticos, mas seguem sendo a opção mais onerosa e menos prática para as indústrias PET. Nesse caso, as equações de predição representam uma alternativa rápida e econômica, mas são necessários mais estudos para o desenvolvimento de equações com melhor acurácia, mais específicas para cada alimento e sejam mais próximas ao valor real, uma vez que o mercado tenha apresentado alimentos completos para gatos com grande variação qualitativa.



## REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO - ABINPET. **Mercado Pet Brasil**. São Paulo: ABINPET, 2016.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIAL- AAFCO. **Methods for substantiating nutritional adequacy of dog and cat foods**. Oxford: Official Publication, 2014.

ATWATER, W. O. **Principles of nutrition and nutritive value of foods**. Washington: Farmer's Bulletin, 1910. 48 p.

BORGES, F. M. O. Nutrição e alimentação dos gatos domésticos. In: NUTRIÇÃO E PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: Editora da UFLA, 2002. 225 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº09 de 9 de julho de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre fixação de Padrões de Identidade Qualidade de Alimentos Completos e de Alimentos Especiais destinados a cães e gatos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 de jul. 2003. Seção 1, p. 7.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 30 de 5 de agosto de 2009. Estabelece critérios e procedimentos para o registro de produtos, para rotulagem e propaganda e para isenção da obrigatoriedade de registro de produtos destinados à alimentação de animais de companhia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 ago. 2009. Seção 1, p. 13-16.

CARCIOFI, A. C. et al. Qualidade e digestibilidade de alimentos comerciais de diferentes segmentos de mercado para cães adultos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. Salvador, v. 10, n. 2, p. 489-500, abr. 2009.

CASE, L. P.; CAREY, D. P.; HIRAKAWA, D. A. **Nutrição Canina e Felina: manual para profissionais**. Madrid: Harcourt Brace, 1998. 424 p.

CASTRILLO, C.; HERVERA, M.; BAUCCELLS, M. D. Methods for predicting the energy value of pet foods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, nesp., p. 1-14, jul. 2009.

DAVENPORT, G. M. Alimentar a los gatos como carnívoros (I). **Argos:** informativo veterinario, España, v. 89, n. 1, p. 54-60, June 2007.

EARLE, K. et al. Fiber affects digestibility of organic matter and energy in pet foods. **The Journal of Nutrition**, Springfield, v. 128, n. 12, p.2798-2800, Dec. 1998.

FAHEY, G. et al. Dietary fiber for dogs: II. Iso-total dietary fiber (TDF) additions of divergent fiber sources to dog diets and their effects on nutrient intake, digestibility, metabolizable energy and digesta mean retention time. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 12, p.4229-4235, Dec. 1990.

GABBI, A. M.; CYPRIANO, L.; PICCININ, I. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de três rações comerciais sob diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 3, p. 784-793, jul. 2011.

GIVENS, D. I.; DEAVILLE, E. R. The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. **Australian Journal Of Agricultural Research**, Australia, v. 50, n. 7, p. 1131-1145, Jan. 1999.

HALL, J. A.; MELENDEZ, L. D.; JEWELL, D. E. Using gross energy improves metabolizable energy predictive equations for pet foods whereas undigested protein and fiber content predict stool quality. **PLoS One**, San Francisco, v. 8, n. 1, p. e5440514, 2013.

HARPER, E. J. Changing perspectives on aging and energy requirements: aging and digestive function in humans, dogs and cats. **Journal of Nutrition: Nutrition for Health**, Springfield, v. 128, p. 2632-2635, Dec. 1998. Suplemento.

KENDALL, P. T.; BURGER, I. H.; SMITH, P. M. Methods of estimation of the metabolizable energy content of cat foods. **Feline Practice**, Santa Barbara, v. 15, n. 2, p. 38-44, 1985.

KENDALL, P. T.; SMITH, P. M.; HOLME, D. W. Factors affecting digestibility and in-vivo energy content of cat foods. **Journal of Small Animal Practice**, Oxford, v. 23, n. 9, p. 538-554, Sept. 1982.

KIENZLE, E. et al. The development of an improved method of predicting the energy content in prepared dog and cat food. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 79, n. 1/5, p. 69-79, May/Aug. 1998b.

KIENZLE, E. et al. The influence of dietary fibre components on the apparent digestibility of organic matter and energy in prepared dog and cat foods. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 79, n. 1/5, p. 46-56, May/Aug. 1998a.

KIENZLE, E. Further developments in the prediction of metabolizable energy in pet food. **Journal of Nutrition**, Rockville, v. 132, n. 6, p. 1796-1798, June 2002.

KUHLMAN, G.; LAFLAMME, D. P.; BALLAM, J. M. A simple method for estimating the metabolizable energy content of dry cat foods. **Feline Practice**, Santa Barbara, v. 21, n. 2, p. 16-20, 1993.

LAFLAMME, D. P. Cats and carbohydrates: implications for health and disease. **Continuing Education for Veterinarians**, Yardley, v. 32, n. 1, p. 1-3, 2010.

LAFLAMME, D. P. Determining metabolizable energy content in commercial pet foods. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 85, n. 7, p. 222-230, Aug. 2001.

MACDONALD, M. L.; ROGERS, Q. R.; MORRIS, J. G. Nutrition of the domestic cat, a mammalian carnivore. **Annual review of nutrition**. Palo Alto, v. 4, p. 521-562, 1984.

MORRIS, J. G.; ROGERS, Q. R. Assessment of the nutritional adequacy of pet foods through the life cycle. **Journal of Nutrition**. Rockville, v. 124, n. 12, p. 2520-2534, 1994. Suplemento.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dogs and cats**. Washington: The National Academies Press, 2006. 758 p.

NUNES, I. J. **Nutrição animal básica**. 2. ed. Belo Horizonte: FEP, 1998. 388 p.

RODRIGUES, P. B. et al. Valores energéticos da soja e subprodutos da soja, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1771-1782, jul./ago. 2002.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, Nov. 1986.

RUBNER, M. Kalorimetrische untersuchungen. **Zeitschrift fur Biologie**, [s.n.], v.21, n. 3, p. 337-410, 1885.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

SANTOS, J. P. F. et al. Instrução normativa 30: uma análise da influência da mudança do ambiente institucional sobre o sistema agroindustrial de pet food. **Boletim de Indústria Animal**, Odessa, v. 70, n. 1, p. 75-87, jan. 2013.

SILVIO, J. et al. Influence of fiber fermentability on nutrient digestion in the dog. **Nutrition**, Burbank, v. 16, n. 4, p. 289-295, Apr. 2000.

TAYLOR, E. J.; ADAMS, C.; NEVILLE, R. Some nutritional aspects of ageing in dogs and cats. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 54, n. 3, p. 645-656, Nov. 1995.

YAMKA, R. M. et al. The impact of dietary protein source on observed and predicted metabolizable energy of dry extruded dog foods. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 1, p. 204-212, Jan. 2007.

YOUNG, L. G.; LOW, A. G.; CLOSE, W. H. Digestion and metabolism techniques in pigs. In: MILLER, E. R.; ULLREY, D. E.; LEWIS, A. J. **Swine nutrition**. Boston: Butterwoth-Heinmann, 1991. p. 623-630.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGO**

**ARTIGO 1 EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE ENERGIA  
METABOLIZAVEL EM ALIMENTOS COMPLETOS PARA GATOS**

M.R., Montes de Oca; M.G. Zangeronimo et al.

Artigo redigido conforme normas da revista *Animal Feed*

*Science and Technology* - versão preliminar

## 1 INTRODUÇÃO

No mundo, a população de animais de companhia vem apresentando um crescimento constante, sendo estimada, atualmente, em 360,8 milhões de cães e 271,9 milhões de gatos (ABINPET, 2016). Em todo o mundo, as indústrias PET estão sempre procurando lançar novos produtos e assim atender às demandas do mercado. Tais produtos são constantemente avaliados, a fim de garantir os nutrientes que atendam às necessidades dos animais. Além dos nutrientes, a densidade energética da dieta também é importante, uma vez que a mesma é determinante para o consumo e, conseqüentemente, para a quantidade de alimento que deve ser fornecido diariamente aos animais (Hall et al., 2013). Assim, o conhecimento do conteúdo energético de um alimento é fundamental para a recomendação segura de um produto comercial.

A energia metabolizável (EM) é a maneira mais utilizada para expressar os valores energéticos de alimentos para gatos. No entanto, sua determinação depende de ensaios metabólicos com animais, os quais demandam tempo. Além de serem onerosos, também envolvem os princípios éticos de cuidados com animais. Dessa forma, as indústrias necessitam de métodos mais rápidos e com menor custo para determinar o conteúdo energético de seus produtos. A *Association of American Feed Control Official* (AAFCO, 2014) sugere a utilização dos fatores de Atwater modificados. No entanto, o NRC (2006) alerta que o uso dessa ferramenta pode resultar em subestimação do conteúdo energético dos alimentos com baixo conteúdo de fibra ou superestimação de alimentos que contenham cereais com maior teor de fibra. Assim, alternativas para estimar os valores de EM dos alimentos de uma maneira mais precisa são necessários.

A disponibilidade de equações de predição dos valores energéticos a partir da composição química dos alimentos é uma ferramenta importante para



estimar os valores de EM. Vários pesquisadores (Kendall et al., 1982; Kendall et al., 1985; Kuhlman et al., 1993; Kienzle et al., 1998b) obtiveram equações de predição para estimar os valores energéticos de alimentos para gatos. No entanto, apesar de algumas dessas equações serem bons modelos de predição da energia, em razão da evolução das pesquisas em nutrição de animais de companhia, os alimentos utilizados em anos anteriores podem não condizer com as dietas atualmente comercializadas, uma vez que essas possuem maior variedade de ingredientes com diferentes digestibilidades. Assim, esse estudo foi conduzido com o objetivo de elaborar e validar novas equações de predição dos valores energéticos de alimentos comerciais para gatos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### *2.1 Banco de dados utilizado*

Os dados utilizados para a elaboração dos modelos foram aprovados pelo comitê de ética protocolo N° 046/16 e foram obtidos em diferentes trabalhos realizados no período de 2010 a 2015, no Gatil de Nutrição de Animais de Companhia do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil. Todos os estudos seguiram o protocolo estabelecido pelo (AAFCO, 2014). As análises bromatológicas dos 38 alimentos e das fezes foram realizadas no Laboratório de Pesquisa Animal do DZO/UFLA. As análises de matéria seca (MS) (método 934.01), proteína bruta (PB) (método 954.01), extrato etéreo (EE) (método 954.02), fibra bruta (FB) (método 962.09) e matéria mineral (MM) (método 942.05) do alimento e das fezes foram realizadas de acordo com metodologias descritas pela AOAC (1995). Já a energia contida nos alimentos, nas fezes e na urina foi determinada utilizando bomba calorimétrica adiabática (Modelo 1261, Parr Instrument Company,

Moline, IL, EUA), enquanto que o extrativo não nitrogenado (ENN) dos alimentos foi estimado pela seguinte equação:

$$\text{ENN (\%)} = 100 - (\text{U} + \text{MM} + \text{PB} + \text{EE} + \text{FB})$$

em que:

U = umidade do alimento, em percentagem;

MM = matéria mineral do alimento, em percentagem;

PB = proteína bruta do alimento, em percentagem;

EE = extrato de etéreo do alimento, em percentagem;

FB = fibra bruta do alimento, em percentagem.

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de MS foi calculado pela fórmula:

$$\text{CDAMS} = (a-b) / a$$

em que:

a = consumo de alimento na matéria seca,

b = excreção de fezes na matéria seca.

O CDA dos demais nutrientes foi calculado pela fórmula:

$$\text{CDA nutriente} = [ (a \times b - c \times d) ] / (a \times b)$$

Em que:

a = consumo de alimento na matéria seca,

b = percentagem do nutriente no alimento,

c = excreção de fezes na matéria seca,

d = porcentagem do nutriente nas fezes.

A energia digestível das dietas foi calculada pela fórmula:

$$EDA = \frac{EB_{ingerida} - EB_{excretada}}{MS_{ingerida}}$$

Foram determinados os valores de energia metabolizável aparente (EMA), por meio de ensaios in vivo e utilizando as equações de ANFALPET, (2009).

Em paralelo, a EM dos alimentos (kcal / kg de MS) foi convertida em MJ / kg por multiplicação do fator 0,004187.

A composição bromatológica, os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes bem como os valores energéticos dos alimentos utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição bromatológica, coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e valores energéticos, na matéria seca, dos 38 alimentos completos para gatos.

Componente	Média	Desvio-padrão	Mínimo – Máximo
Umidade, g/kg	63,36	17,72	31,2 - 93,5
Proteína bruta, g/kg	300,34	34,04	249,2 - 398,7
Lipídeos, g/kg	113,89	36,26	82,2 - 198,7
Fibra bruta, g/kg	21,54	9,92	6,3 - 41,2
Matéria mineral, g/kg	84,05	13,48	63,5 - 110,1
Extrativos não nitrogenados, g/kg	419,80	49,41	255 - 483,4
Energia bruta (MJ/kg)	19,02	1,02	17,18 - 21,32
Coeficientes de digestibilidade			
Matéria seca	0,7413	0,0538	0,6379 - 0,8247
Proteína bruta	0,7798	0,0494	0,6281 - 0,8615
Lipídeos	0,8380	0,0542	0,7102 - 0,9283
Extrato não nitrogenado	0,8091	0,0528	0,7068 - 0,9051
Energia digestível, MJ/kg <sup>1</sup>	16,22	1,65	13,38 - 19,34
Energia metabolizável, MJ/kg <sup>1</sup>	15,09	1,76	11,39 - 18,1

<sup>1</sup> Valores obtido *in vivo*.

## 2.2 Obtenção das equações de predição

Para a obtenção de equações para prever os valores energéticos dos alimentos, foi utilizado um modelo no qual a energia metabolizável aparente (EMA) e energia digestível aparente (EDA) foram dados como função das variáveis de composição química (PB, EE, MM, FB, ENN) com ou sem os valores de energia bruta (EB) dos alimentos, considerando o ajuste do modelo de regressões lineares múltiplas (KUTNER et al., 2005):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_n X_{in} + \epsilon_i$$

em que:

$Y_i$  = refere-se ao valor de EMA do alimento, determinado em ensaio metabólico, no  $i$ -ésimo estudo;

$X_{i1}...X_{in}$  = variáveis independentes representadas pela PB, EE, FB, ENN, MM e EB, determinados no  $i$ -ésimo estudo;

$\epsilon_i$  = erro associado a  $i$ -ésima observação assumindo, normal e independentemente distribuído, com média 0 e variância  $\sigma^2_i$ .

A influência das variáveis independentes sobre o valor da EMA do alimento foi avaliada pelos valores do coeficiente de regressão parcial de cada variável no modelo completo. O método *stepwise* foi utilizado para a inclusão e exclusão de variáveis no modelo. Após a aplicação desse método, se alguma variável foi não significativa a 10% pelo teste F, esta foi retirada do modelo.

### 2.3 Validação das equações de predição

O processo de validação das equações obtidas consistiu na comparação dos valores de EMA observados em ensaios metabólicos com os valores preditos pelas equações obtidas. Nessa etapa do estudo, também foram testadas equações de predição existentes em literatura (Tabela 2). Para a validação, foram utilizados os dados de composição química e energética de 16 alimentos completos para gatos avaliados em diferentes trabalhos (Numajiri, 2006; Fonseca and Pontieri, 2008; Santos, 2015; Machado, 2014) e que não foram utilizados para a elaboração das equações de predição do presente estudo.

Tabela 2 – Composição bromatológica e valores energéticos, na matéria seca, dos 16 alimentos completos para gatos.

Componente	Média	Desvio-padrão	Mínimo – Máximo
Umidade, g/kg	68,03	15,09	29,8 - 91
Proteína bruta, g/kg	335,91	21,65	294,4 - 372,4
Lipídeos, g/kg	143,8	43	84,7 - 218,8
Fibra bruta, g/kg	15,36	6,77	4,6 - 30
Matéria mineral, g/kg	78,61	16,73	58,5 - 109,8
Extrativos não nitrogenados, g/kg	371,53	58,28	261,1 - 452,4
Energia bruta (MJ/kg)	21,07	1,11	19,75 - 23,26
Energia digestível, MJ/kg <sup>1</sup>	17,13	1,69	14,35 - 20,11
Energia metabolizável, MJ/kg <sup>1</sup>	15,89	1,8	12,70 - 18,87

<sup>1</sup> Valores obtido *in vivo*.

Tabela 3 – Equações de predição de literatura utilizadas para a estimativa de valores da energia metabolizável dos alimentos para gatos.

Referência	N	Equação	R <sup>2</sup>
Atwater modificado	124	$EM = ((3,5 \times PB) + (8,5 \times EE) + (3,5 \times ENN)) \times 10$	0,94
NRC (2006) <sup>1</sup>	261	$EM = ED - PB (g) \times 0,77$	0,90
Kendall et al. (1982)	14	$EM = 0,99 \times EB - 126$	0,53
Kendall et al. (1985a)	28	$EM = 0,84 \times EB - 60$	0,77
Kendall et al. (1985b)	28	$EM = 39,8 \times EE + 2600$	0,66
Kuhlman et al. (1993a)	14	$EM = 1,209 \times EB - 1911$	0,90
Kuhlman et al. (1993b)	14	$EM = 75 \times EE + 2766$	0,92
Hall et al. (2013)	227	$EM = 0,923 \times EB + 14,68 \times EE - 44,31 \times FB - 4,21 \times PB + 4,80 \times UM - 541$	0,99

<sup>1</sup>NRC (2006) estima EM calculando primeiro  $EB = 5,76 \text{ g PB} + 9,46 \text{ g EE} + 4,16 \text{ (g ENN} + \text{g FB)}$ . Coeficientes de digestibilidade =  $87,9 - 0,886 \times \% \text{ FB na MS}$ .  $ED = EB \times \text{coeficiente de digestibilidade} / 100$ , e posterior cálculo do  $EM = ED - (0,776 \times \text{g de proteína})$ .

EM: energia metabolizável; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; ENN: extrativo não nitrogenado; EB: energia bruta; UM: umidade.

O procedimento de validação foi realizado por ajustamento de um modelo de regressão linear simples ( $Y = a + b x$ ) entre os valores observados (variável dependente) e os valores preditos (variável independente) usando hipóteses simultâneas que foram testadas pelo teste t, de acordo com o método de (Mayer et al., 1994):

$$H_0: a = 0 \quad H_0: b = 1$$

$$H_a: a \neq 0 \quad H_a: b \neq 1$$

Os valores preditos pelas equações e os observados pelos ensaios foram considerados semelhantes quando ambas as hipóteses nulas não foram rejeitadas (Kutner, 2005; Roseler et al., 1997).

As medições de erro de predição, com base na diferença entre os valores observados e preditos foram calculados com as seguintes expressões:

$R^2$  - Coeficiente de determinação:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$$

MAD - Desvio médio absoluto:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i - \hat{y}_i|}{n}$$

MAPE – Erro médio porcentual absoluto

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{d_i - \hat{y}_i}{d_i} \right|}{n} \times 100$$

Com  $d_i \neq 0$

Bias – viés (erro médio):

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (di - \hat{y}_i)}{n}$$

m.s.e – erro quadrático médio:

$$m. s. e = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (di - \hat{y}_i)^2}{n}$$

Em que  $di$  é o  $i$ -ésimo valor observado (ou desejado),  $\hat{y}_i$  é o  $i$ -ésimo valor predito,  $n$  é o número de valores observados e  $\bar{di}$  é a média dos  $n$  valores observados.

Para a seleção das melhores equações, cada uma das 14 equações recebeu uma pontuação, que variou de 1 a 14, conforme a ordem de posição definida a partir de alguns critérios pré-estabelecidos. Equações com maiores valores de probabilidade (t de Student) para a hipótese nula receberam maiores pontuações (14 pontos para a de maior valor e 1 ponto para o de menor valor). O mesmo foi realizado utilizando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Para cada um dos valores de erros (MAD, MAPE e m.s.e), as equações com menores erros foram melhores pontuadas (14 pontos para equações com erros menores e 1 ponto para as de maiores valores). Já para o bias, quanto mais próximo de 0, maior a pontuação recebida (14 pontos para equações com bias mais próxima de 0 e 1 ponto para equações mais distantes desse valor). Ao final os pontos atribuídos a cada equação foram somados, sendo considerada a mais indicada a equação de maior pontuação.

Toda análise estatística tanto para a elaboração quanto para validação das equações de predição foi realizada no programa estatístico SAS 9.3 (SAS INSTITUTE INC., 2011).



### 3 RESULTADOS

As equações de predição dos valores energéticos de alimentos para gatos estão apresentadas na Tabela 4. Para estimar a EM, a equação que apresentou maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi aquela em que os valores de EB e FB foram considerados. Já para a ED, a inclusão da EB combinada com a MM ou EB combinada com ENN, MM, EE e PB foram aquelas que apresentaram maiores  $R^2$ .

As estimativas dos parâmetros intercepto e coeficiente angular obtidas no ajuste entre os valores energéticos estimados pelas equações e os determinados *in vivo*, bem como os valores de probabilidade para a hipóteses de nulidade estão apresentados na Tabela 5. Em todas as equações foram aceitas as hipóteses de nulidade ( $H_0: a = 0$ ;  $H_0: b = 1$ ), ou seja, todas foram eficientes em estimar os valores energéticos de alimentos completos para gatos, exceto as equações propostas pelo (NRC, 2006; Kendall et al., 1982; Kendall et al., 1985).

Tabela 4 – Equações de predição dos valores energéticos de alimentos para gatos determinados a partir de 38 alimentos selecionadas de acordo pelo teste de F ( $P>0,10$ ).

Valor energético	Equação de predição	R <sup>2</sup>
Energia metabolizável (kcal/kg)	$EMA_{(MN)} = 99,77FB + 1,40 EB - 3242,68$	0,73
	$EMA_{(MN)} = 30,58PB + 49,79EE - 68,115MM + 2473,99$	0,55
	$EMA_{(MS)} = 93,7FB + 1,39EB - 2944$	0,66
Energia digestível (kcal/kg)	$EDA_{(MN)} = 1,25EB - 42,212MM - 1726,68$	0,81
	$EDA_{(MN)} = 47,24PB + 32,53EE - 81,27MM + 2532,76$	0,66
	$EDA_{(MS)} = 1,47EB - 59,47ENN - 104MM - 76,27EE - 35,64PB + 2500,76$	0,83

EMA = energia metabolizável aparente; EDA: energia digestível aparente; MN: matéria natural; MS: matéria seca; FB: fibra bruta; EB: energia bruta; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; MM: matéria natural. R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação

Os parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia de equações de predição estão apresentados na Tabela 6 e a pontuação das equações, de acordo com os resultados estatísticos, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros intercepto e coeficiente angular e valores de probabilidade dos testes t aplicados na validação das equações de predição.

Equação de Predição	Intercepto		Coeficiente Angular	
	Estimativa	P >  t *	Estimativa	P >  t **
1	-122,06	0,85	0,91	0,59
2	346,93	0,62	0,73	0,10
3	-221,55	0,76	0,96	0,80
4	-38,28	0,95	0,91	0,52
5	-508,26	0,58	1,10	0,68
6	972,35	0,20	0,68	0,06
7	-559,71	0,61	1,18	0,55
8	-2796,79	0,05	1,52	0,10
9	-2826,86	0,03	1,36	0,16
10	-2902,21	0,03	1,61	0,05
11	-1917,82	0,22	1,80	0,11
12	-867,41	0,32	1,12	0,58
13	-122,11	0,90	0,96	0,86
14	-1095,21	0,27	1,18	0,44

(1) EMA = 99,77FB + 1,40EB - 3242,68 (matéria natural)

(2) EMA = 30,58PB + 79,79EE - 68,115MM + 2473,99 (matéria natural)

(3) EMA = 93,7FB + 1,39EB - 2944 (matéria seca)

(4) EDA = 1,25EB - 42,212MM -1726,68 (matéria natural)

(5) EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76 (matéria natural)

(6) EDA = 1,47EB - 59,47ENN -104MM - 76,27EE - 35,6PB + 2500,76 (matéria seca)

(7) EM = ((3,5PB) + (8,5EE) + (3,5ENN)) x10 (Atwater modificado)

(8) EM = ED - PB (g) x 0,77 (NRC, 2006)

(9) EM = 0,99EB - 126 (Kendall et al., 1982)

(10) EM = 0,84EB - 60 (Kendall et al., 1985)

(11) EM = 39,8EE + 2600 (Kendall et al., 1985)

(12) EM = 1,209EB-1911 (Kuhlman et al., 1993)

(13) EM = 75EE + 2766 (Kuhlman et al., 1993)

(14) EM = 0,923EB + 14,68EE - 44,31FB - 4,21PB + 4,80UM - 541 (Hall et al., 2013)

\* H<sub>0</sub>: β<sub>0</sub> = 0; H<sub>a</sub>: β<sub>0</sub> ≠ 0

\*\* H<sub>0</sub>: β<sub>1</sub> = 1; H<sub>a</sub>: β<sub>1</sub> ≠ 1

Tabela 6 – Parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia de equações de predição de valores energéticos de alimentos para gatos avaliados com 16 alimentos completos para gatos.

Equação de Predição	R <sup>2</sup>	m.s.e	MAD	MAPE	Bias
1	71,1	263778	475	13,9	-464,7
2	61,6	230434	436	13,0	-409,9
3	70,1	214968	427	11,7	-402,9
4	76,2	213423	421	11,3	-421,1
5	62,9	72443	205	5,7	-131,7
6	56,9	324902	524	13,2	-489,9
7	54,0	91985	244	6,0	99,7
8	65,4	360640	535	15,0	-535,3
9	68,8	1191775	1062	29,0	-1062,4
10	68,8	210751	384	11,0	-372,9
11	50,9	494862	629	16,0	625,6
12	68,8	204388	406	11,0	-385,5
13	50,9	88200	234	7,0	-46,5
14	65,3	181886	370	10,0	-344,2

(1) EMA = 99,77 FB + 1,40EB - 3242,68 (matéria natural)

(2) EMA = 30,58PB + 79,79EE - 68,115MM + 2473,99 (matéria natural)

(3) EMA = 93,7FB + 1,39EB - 2944 (matéria seca)

(4) EDA = 1,25EB - 42,212MM -1726,68 (matéria natural)

(5) EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76 (matéria natural)

(6) EDA = 1,47 EB - 59,47 ENN -104 MM - 76,27EE - 35,6PB + 2500,76 (matéria seca)

(7) EM = ((3,5 PB) + (8,5EE) + (3,5ENN)) x10 (Atwater modificado)

(8) EM = ED - PB (g) x 0,77 (NRC, 2006)

(9) EM = 0, 99EB - 126 (Kendall et al., 1982)

(10) EM = 0, 84EB - 60 (Kendall et al., 1985)

(11) EM = 39, 8EE + 2600 (Kendall et al., 1985)

(12) EM = 1,209EB-1911 (Kuhlman et al., 1993)

(13) EM = 75EE + 2766 (Kuhlman et al., 1993)

(14) EM = 0,923EB + 14,68EE - 44,31FB - 4,21PB + 4,80UM - 541 (Hall et al., 2013)

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; m.s.e: erro quadrático médio; MAD: desvio médio absoluto; MAPE: erro médio porcentual absoluto, Bias: viés (erro médio).

Tabela 7 – Ranqueamento das equações de predição de acordo com parâmetros de adequabilidade de ajuste e acurácia obtidos a partir de 16 alimentos completos para gatos.

Equação de predição	P >  t		R <sup>2</sup>	m.s.e	MAD	MAPE	Bias	Σ
	Intercepto	Coefficiente angular						
1	12	11	13	5	5	4	5	55
2	10	4	5	6	6	6	7	44
3	11	13	12	7	7	7	8	65
4	14	8	14	8	8	8	6	66
5	8	12	6	14	14	14	12	80
6	4	2	4	4	4	5	4	27
7	9	9	3	12	12	13	13	71
8	3	3	8	3	3	3	3	26
9	2	6	9	1	1	1	1	21
10	1	1	10	9	10	9	10	50
11	5	5	1	2	2	2	2	19
12	7	10	11	10	9	10	9	66
13	13	14	2	13	13	12	14	81
14	6	7	7	11	11	11	11	64

(1) EMA = 99,77 FB + 1,40EB - 3242,68 (matéria natural)

(2) EMA = 30,58PB + 79,79EE - 68,115MM + 2473,99 (matéria natural)

(3) EMA = 93,7FB + 1,39EB - 2944 (matéria seca)

(4) EDA = 1,25EB - 42,212MM -1726,68 (matéria natural)

(5) EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76 (matéria natural)

(6) EDA = 1,47 EB - 59,47 ENN -104 MM - 76,27EE - 35,6PB + 2500,76 (matéria seca)

(7) EM = ((3,5 PB) + (8,5EE) + (3,5ENN)) x10 (Atwater modificado)

(8) EM = ED - PB (g) x 0,77 (NRC, 2006)

(9) EM = 0, 99EB - 126 (Kendall et al., 1982)

(10) EM = 0, 84EB - 60 (Kendall et al., 1985)

(11) EM = 39, 8EE + 2600 (Kendall et al., 1985)

(12) EM = 1,209EB-1911 (Kuhlman et al., 1993)

(13) EM = 75EE + 2766 (Kuhlman et al., 1993)

(14) EM = 0,923EB + 14,68EE - 44,31FB - 4,21PB + 4,80UM - 541 (Hall et al., 2013)

P > |t| (t Student) e R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação): equações com valores mais elevados receberam maior pontuação;

m.s.e (erro quadrático médio), MAD (desvio médio absoluto) e MAPE (erro médio porcentual absoluto): equações com valores mais baixos receberam maior pontuação;

Bias (erro médio): o valor mais próximo de zero recebeu maior pontuação.

As equações  $EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76$  apresentadas no presente estudo e a equação  $EM = 75EE + 2766$  (Kuhlman et al., 1993) foram as que apresentaram maiores pontuações.

#### **4 DISCUSSÃO**

A disponibilidade de equações para predizer dos valores energéticos de alimentos para gatos é importante para a obtenção da energia contida nos alimentos e, com isso, calcular adequadamente o consumo diário pelos animais. No presente estudo, foram obtidas diferentes equações com a necessidade de se conhecer os valores de EB dos alimentos, simplesmente conhecendo a composição química dos mesmos. Embora a acurácia não seja ideal (Figuras 1 a 6), as análises estatísticas (Tabela 4) mostraram que todas são eficazes em suas predições. Esse resultado pode se ser comprovado pelo fato de haver hipóteses de nulidade ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $H_0: \beta_1 = 1$ ) não rejeitadas para todas as equações propostas, ou seja, as análises de regressão simples indicaram não haver diferenças significativas entre os valores observados e estimados, mas não indicaram que os valores de predição coincidem com os valores observados. Em outras palavras, a análise de regressão somente verifica que a relação entre os dois valores inteiros é existente, assumindo que o pré-estabelecido de  $Y = 0 + 1 X$  ou simplesmente  $Y = X$  (valores preditos = valores observados).

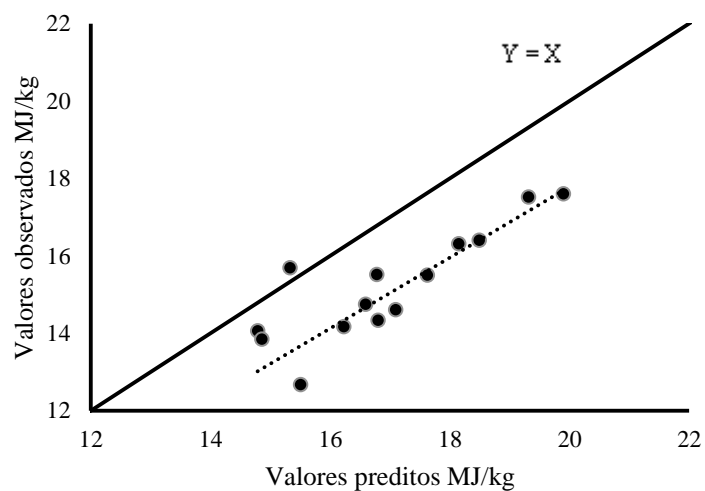


Figura 1 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores preditos pela equação  $EMA = 99,77FB + 1,40EB - 3242,68$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.

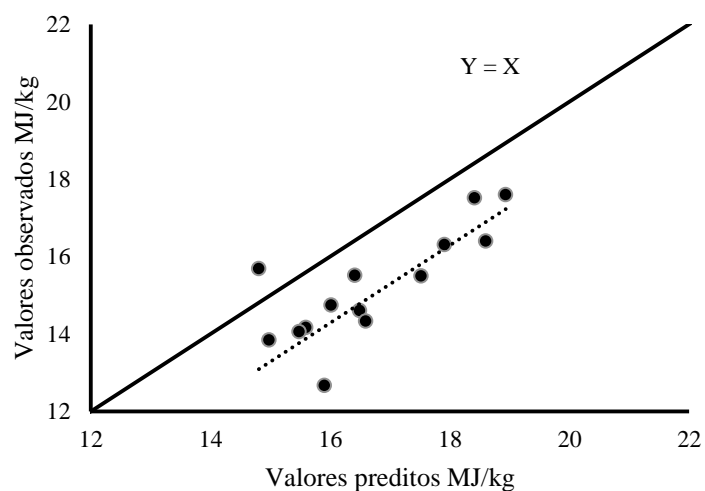


Figura 2 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EMA = 30,58PB + 49,79EE - 68,115MM + 2473,99$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.

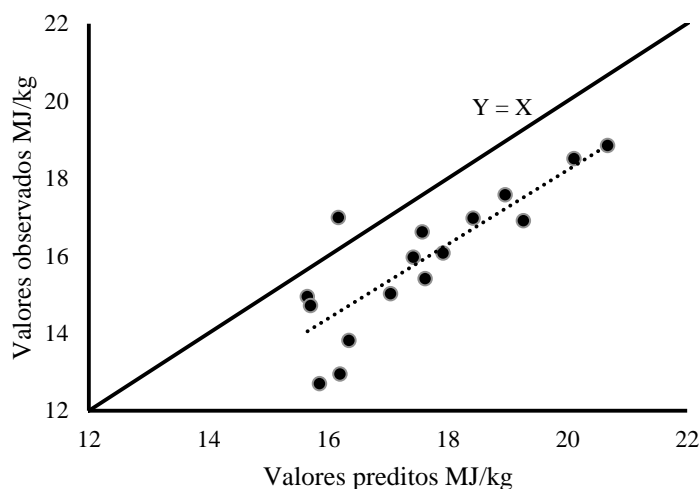


Figura 3 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EMA = 93,7FB + 1,39EB - 2944$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria seca.

A relação entre os valores de EM observados e preditos pelas equações (Figuras 1 a 3) mostram linhas paralelas. O paralelismo pode dever-se a metodologias diferentes para a estimação da EM, a metodologia utilizada nos 38 alimentos para a realização das equações de predição foram estimadas as perdas de energia da urina por equações, onde se calcula a EM por diferença com a energia digestível, nos 16 alimentos para a validação foram medidos por bomba calorimétrica alimentos, fezes e urina, o seja, a metodologia de coleta completa. Essas diferenças na metodologia utilizada pode gerar uma diferença constante dando como resultado uma predição aproximada, mas não exata.



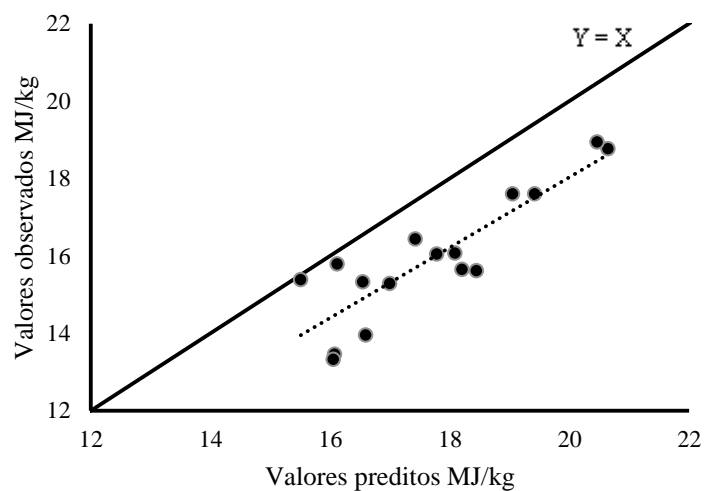


Figura 4 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 1,25EB - 42,212MM - 1726,68$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.

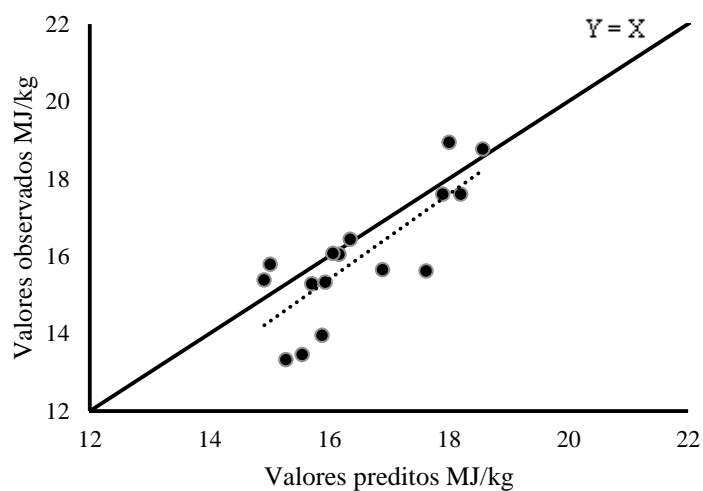


Figura 5 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 47,24PB + 32,53EE - 81,27MM + 2532,76$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria natural.

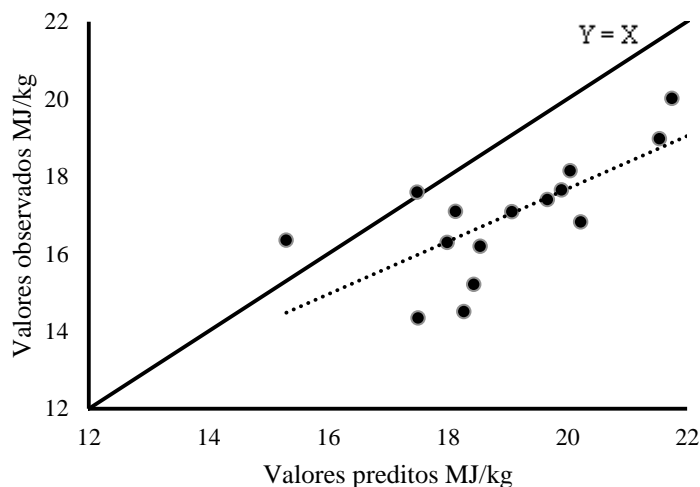


Figura 6 – Relação entre os valores de EDA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EDA = 1,47EB - 104MM - 59,97ENN - 76,27EE - 35,64PB + 2500,76$  em kcal/kg transformados a MJ/kg na matéria seca.

A estimativa dos erros também representa uma importante ferramenta de validação. Quanto mais próximo o valor estimado do observado, menor a incidência de erros de estimativa (Mariano et al., 2013)..

O *bias* indica o quanto o modelo foi superestimado ou subestimado. No presente estudo, todas as equações elaboradas e também a maioria das equações da literatura testadas apresentaram *bias* negativo. Isso indica que tais modelos tendem a superestimar os valores energéticos dos alimentos (Figuras 1-6). Apesar desse resultado, as equações ajustadas traçadas entre os valores estimados e observados são paralelas à linha de igualdade ( $X = Y$ ), ou seja, os valores preditos pelas equações tenderam a seguir os mesmos padrões que os valores reais observados. Ao comparar os diferentes modelos propostos no presente estudo, a equação  $EDA = 47,24PB + 32,53EE - 81,27MM + 2532,76$  foi a que apresentou maior proximidade da linha de tendência com a linha de

identidade (Figura 5), sugerindo um bom ajuste desse modelo para a predição da EDA de alimentos completos para gatos.

Na literatura, diferentes equações também são encontradas. No presente estudo, em quase todas as equações foram aceitas as hipóteses de nulidade ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $H_0: \beta_1 = 1$ ), com exceção das equações apresentadas pelo (NRC, 2006; Kendall et al., 1982; Kendall et al., 1985). A equação de predição com melhor acurácia foi  $EM = 75EE - 2766$  proposta por Kuhlman et al. (1993) (Figura 7), com erro médio percentual absoluto obtido de 7%. De maneira semelhante, Laflamme, (2001) realizou validação de diferentes equações (Kendall et al., 1985; Kienzle et al., 1998b; Kuhlman et al., 1993) e demonstraram que as duas equações propostas por Kuhlman e colaboradores foram as mais precisas e simples para estimar a EM em alimentos secos para gatos.

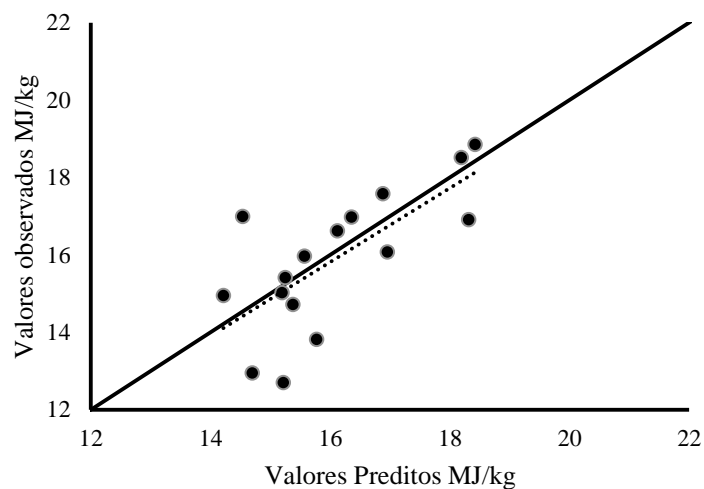


Figura 7 – Relação entre os valores de EMA observados nos 16 alimentos completos para gatos e valores previstos pela equação  $EM = 75EE + 2766$  proposta por Kuhlman et al. (1993).

No presente estudo, as melhores equações elaboradas para prever o valor de EM dos alimentos para gatos considerou a EB como uma variável importante, juntamente com a porcentagem de FB no alimento. No entanto, o mesmo não aconteceu na predição da ED, onde o melhor modelo inclui a PB, o EE e a MM. Hall et al. (2013) citam que a EB representa uma parcela importante na predição da EM, em cães e gatos, embora a melhor equação da literatura indicada pelo presente estudo leve em consideração apenas o teor de EE dos alimentos (Kuhlman et al., 1993). Esse resultado deve-se ao fato de que a gordura contém cerca de duas vezes mais o conteúdo de energia que a proteína e hidratos de carbono na dieta (Castrillo et al., 2009). A maior vantagem de incluir somente variáveis químicas nos modelos é que essas podem ser medidas por análises simples e de forma rápida, sem a necessidade da bomba calorimétrica. Por outro lado, a FB também parece ser uma variável importante para prever o valor energético dos alimentos. O próprio NRC (2006) sugere a equação proposta por Kienzle et al. (1998b) para estimar a energia em cães e gatos. Nessa equação, a predição da ED ocorre a partir do coeficiente de digestibilidade da energia, que é calculado pela porcentagem de FB multiplicado pelo teor de EB. Sabe-se que a FB apresenta correlação negativa com a digestibilidade da energia e da matéria orgânica em cães (Earle et al., 1998; Fahey et al., 1990; Kienzle et al., 1998a). Em contrapartida, Castrillo et al., (2009) relatam que a fibra parece ter menor efeito sobre a digestibilidade dos nutrientes em gatos quando comparados aos cães. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que dietas de cães contêm geralmente maior quantidade de cereais, além do que parte dos hidratos de carbono não digeríveis podem não estar incluídos, na fração de FB analisada.

Não foram encontradas na literatura equações de predição para cães e gatos com o uso de matéria mineral (MM). No entanto, Rodrigues et al., (2002) afirmaram que, em alimentos para frango de corte, essa fração contida nos

alimentos é importante na predição da energia dos alimentos, uma vez que representa de maneira inversa a fração orgânica dos mesmos.

No presente estudo, as equações com melhor acurácia validadas a partir dos 16 alimentos completos para gatos foram os modelos que não precisam da bomba calorimétrica, o que representa uma vantagem econômica em comparação aos outros modelos que necessitam dos valores de EB para estimar os valores de EM. Muitas indústrias não possuem equipamentos específicos à disposição. Nesses casos, os valores energéticos dos alimentos podem ser obtidos somente a partir de análises químicas simples, muitas vezes de rotina, realizadas de forma rápida e prática.

## 5 CONCLUSÃO

Todas as equações testadas podem ser utilizadas para prever o valor energético de alimentos completos para gatos, embora a maioria apresente tendência de superestimativa de valores. As melhores equações avaliadas foram  $EDA = 47,24PB + 32,52EE - 81,27MM + 2532,76$  apresentadas no presente estudo e a equação  $EM = 75EE + 2766$  apresentada na literatura. .

## 6 REFERÊNCIAS

- AAFCO, 2014. AAFCO methods for substantiating nutritional adequacy of dog and cat food. AAFCO Dog Cat Food Nutr. Profiles 1–24.
- ABINPET, 2016. Dados do Mercado [WWW Document]. Dados do Merc. URL <http://abinpet.org.br/site/mercado/> (accessed 6.21.16).
- ANFALPET, 2009. Manual do Programa Integrado de Qualidade Pet. São Paulo.
- Castrillo, C., Hervera, M., Baucells, M.D., 2009. Methods for predicting the

- energy value of pet foods. *Rev. Bras. Zootec.* 38, 1–14.  
doi:10.1590/S1516-35982009001300001
- Earle, K.E., Kienzle, E., Opitz, B., Smith, P.M., Maskell, I.E., 1998. Fiber affects digestibility of organic matter and energy in pet foods. *J. Nutr.* 128, 2798S–2800S.
- Fahey, G.C., Merchen, N.R., Corbin, J.E., Hamilton, A.K., Serbe, K.A., Hirakawa, D.A., 1990. Dietary fiber for dogs: II. Iso-total dietary fiber (TDF) additions of divergent fiber sources to dog diets and their effects on nutrient intake, digestibility, metabolizable energy and digesta mean retention time. *J. Anim. Sci.* 68, 4229–35.
- Fonseca, C., Pontieri, F., 2008. Avaliação nutricional de diferentes fontes de gordura e do uso de lecitina em alimentos extrusados para gatos 110.
- Hall, J.A., Melendez, L.D., Jewell, D.E., 2013. Using Gross Energy Improves Metabolizable Energy Predictive Equations for Pet Foods Whereas Undigested Protein and Fiber Content Predict Stool Quality. *PLoS One* 8, 1–8. doi:10.1371/journal.pone.0054405
- KENDALL, P.T., SMITH, P.M., HOLME, D.W., 1982. Factors affecting digestibility and in-vivo energy content of cat foods. *J. Small Anim. Pract.* 23, 538–554. doi:10.1111/j.1748-5827.1982.tb02515.x
- Kienzle, E., Opitz, B., Earle, K.E., Smith, P.M., Maskell, I.E., Iben, C., 1998. The development of an improved method of predicting the energy content in prepared dog and cat food. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 79, 69–79. doi:10.1111/j.1439-0396.1998.tb00630.x
- Kienzle, E., Opitz, B., Earle, K.E., Smith, P.M., Maskell, I.E., Iben, C., 1998. An improved method for the estimation of energy in pet foods. *J. Nutr.* 128, 2806S–2808S.
- Kutner, M.H., 2005. *Applied Linear Statistical Models.*

- Laflamme, D.P., 2001. Determining metabolizable energy content in commercial pet foods. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 85, 222–230. doi:10.1046/j.1439-0396.2001.00330.x
- Machado, G.S., 2014. Avaliação do glicerol em dietas para gatos adultos. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
- Mariano, F.C.M.Q., Paixã O, C.A., Lima, R.R., Alvarenga, R.R., Rodrigues, P.B., Nascimento, G.A.J., 2013. Prediction of the energy values of feedstuffs for broilers using meta-analysis and neural networks. *Anim. Anim. Consort.* 7, 1440–1445. doi:10.1017/S1751731113000712
- Mayer, D.G., Stuart, M.A., Swain, A.J., 1994. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. *Agric. Syst.* 45, 93–104. doi:10.1016/S0308-521X(94)90282-8
- NRC, 2006. Nutrient Requirements of Dogs and Cats. National Academies Press, Washington, D.C. doi:10.17226/10668
- Numajiri, L.N., 2006. Valores nutricionais de alimentos completos e equações de predição de energia metabolizável para gatos adultos. Universidade Federal de Lavras.
- Rodrigues, P.B., Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Gomes, P.C., Nunes, R.V., Toledo, R.S., 2002. Valores Energéticos da Soja e Subprodutos da Soja, Determinados com Frangos de Corte e Galos Adultos. *Rev. Bras. Zootec.* 31, 1771–1782. doi:10.1590/S1516-35982002000700020
- Roseler, D.K., Fox, D.G., Chase, L.E., Pell, A.N., Stone, W.C., 1997. Development and Evaluation of Equations for Prediction of Feed Intake for Lactating Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80, 878–893. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76010-7
- Santos, J.P.F., 2015. Efeitos de níveis crescentes de parede celular de levedura sobre a digestibilidade, microbiota fecal e produtos da fermentação intestinal em dietas para gatos adultos. Universidade de São Paulo.

**ANEXOS**

ANEXO 1 – Certificado de comitê de ética, aprovação de uso de animais.....	57
ANEXO 2 – Melhor modelo para a predição da energia metabolizável na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicas (fibra bruta - FB e energia bruta - EB) dos 38 alimentos completos para gatos.....	58
ANEXO 3 – Modelo para a predição da energia metabolizável na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (EE, PB, MM) dos 38 alimentos completos para gatos .....	58
ANEXO 4 – Modelo para a predição da energia metabolizável na matéria seca, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (FB, EB) dos 38 alimentos completos para gatos.....	59
ANEXO 5 – Modelo para a estimativa da energia digestível na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (MM, EB) dos 38 alimentos completos para gatos .....	59
ANEXO 6 – Modelo para a predição da energia digestível na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (PB, MM, EE) dos 38 alimentos completos para gatos .....	60
ANEXO 7 – Modelo para a predição da energia digestível na matéria seca, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (PB, MM, EE, ENN, EB) dos 38 alimentos completos para gatos .....	61



## ANEXO 1 – Certificado de comitê de ética, aprovação de uso de animais.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA**  
 COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS  
 Cx.P.3037 - Lavras – MG – 37200-000 – (35) 3829-5182 cba@nintec.ufla.br

**CERTIFICADO**

Certificamos que a proposta intitulada "Equações de predição da energia metabolizável em alimentos completos para gatos", protocolo nº 046/16, sob a responsabilidade de Flávia Maria de Oliveira Borges Saad, Mônica Andreina Rodriguez Montes de Oca, Lívia Geraldí Ferreira, Karen Guttenkunst Lisenko e Roberta Freitas Lacerda, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto homem), para fins de ensino e/ou pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas edificadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da Pró-Reitoria de Pesquisa/UFLA, em reunião de 11/08/2016.

Vigência da autorização: de 02/08/2015 a 02/08/2016  
 Finalidade: ( ) Ensino (x) Pesquisa Científica  
 Espécie/linhagem/raça: -  
 Número de animais aprovados: -  
 Peso/Idade: - / -  
 Sexo: -  
 Origem dos animais (documento apresentado pelo pesquisador responsável e arquivado pela CEUA): Os animais fazem parte da população do Centro de Estudos em Nutrição de Animais de Companhia (CENAC), do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Lavras - Coordenadora: Flávia Maria de Oliveira Borges Saad, Professora do DZO.

  
 Prof.<sup>a</sup> Gabriela Rodrigues Sampaio  
 Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais CEUA

Universidade Federal de Lavras  
 Pró-Reitoria de Pesquisa /Comissões Permanentes  
 Campus Universitário -  
 Caixa Postal 3037 / CEP 37200 000 – Lavras, MG - Brasil  
 Tel.: +55 (35) 3829 5182  
 cba@nintec.ufla.br - www.prp.ufla.br

ANEXO 2 – Melhor modelo para a predição da energia metabolizável na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicas (fibra bruta - FB e energia bruta - EB) dos 38 alimentos completos para gatos.

N.Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	P > F <sup>2</sup>
1	EB	0,6713	0,6713	3,9979	71,49	<,0001
2	FB	0,0515	0,7229	0,1978	6,32	0,0168
				F-Valor	P > F <sup>1</sup>	
Modelo		2		44,34	<,0001	
Variável		Estimador de Parâmetro		F-Valor	P > F <sup>2</sup>	
Intercepto		-3242,68059		21,13	<,0001	
FB		99,77786		6,32	0,0168	
EB		1,4086		86,85	<,0001	

<sup>1</sup> Significância (P>F) da regressão  
<sup>2</sup> Significância (P>F) das variáveis

ANEXO 3 – Modelo para a predição da energia metabolizável na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (EE, PB, MM) dos 38 alimentos completos para gatos

N.Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	P > F <sup>2</sup>
1	EE	0,4226	0,4226	7,8985	25,62	<,0001
2	PB	0,0859	0,5085	3,8145	5,94	0,0202
3	MM	0,0394	0,5479	3,0202	2,88	0,0991
				F-Valor	P > F <sup>1</sup>	
Modelo		3		13,33	<,0001	
Variável		Estimador de Parâmetro		F-Valor	P > F <sup>2</sup>	
Intercepta		2473,99		13,35	0,0009	
PB		30,5871		3,5	0,0704	
EE		49,7894		10,73	0,0025	
MM		-68,115		2,88	0,0991	

<sup>1</sup> Significância (Pr>F) da regressão.  
<sup>2</sup> Significância (Pr>F) das variáveis.

ANEXO 4 – Modelo para a predição da energia metabolizável na matéria seca, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (FB, EB) dos 38 alimentos completos para gatos

N-Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>
1	EB	0,6093	0,6093	7,2523	56,14	<,0001
2	FB	0,0481	0,6574	4,1733	4,91	0,0332
				F-Valor	Pr > F <sup>1</sup>	
Modelo		2		33,58	<,0001	
Variável	Estimador de Parâmetro		F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>		
Intercepta	-2944		13,48	0,0008		
FB	93,7046		4,91	0,0332		
EB	1,39607		65,39	<,0001		

<sup>1</sup> Significância (Pr>F) da regressão.

<sup>2</sup> Significância (Pr>F) das variáveis.

ANEXO 5 – Modelo para a estimativa da energia digestível na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (MM, EB) dos 38 alimentos completos para gatos

N-Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>
1	EB	0,794	0,7941	9,309	138,81	<,0001
2	MM	0,015	0,8094	8,073	2,83	0,1016
				F-Valor	Pr > F <sup>1</sup>	
Modelo		2		74,34	<,0001	
Variável	Estimador de Parâmetro		F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>		
Intercepta	-1726,68503		5,25	0,0278		
MM	-41,212		2,83	0,1016		
EB	1,25514		85,07	<,0001		

<sup>1</sup> Significância (Pr>F) da regressão.

<sup>2</sup> Significância (Pr>F) das variáveis.

ANEXO 6 – Modelo para a predição da energia digestível na matéria natural, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (PB, MM, EE) dos 38 alimentos completos para gatos

N-Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>
1	PB	0,4808	0,4808	15,5315	33,34	<,0001
2	EE	0,1142	0,595	6,637	9,87	0,0034
3	MM	0,0663	0,6613	2,3074	6,66	0,0143
				F-Valor	Pr > F <sup>1</sup>	
Modelo		3		22,13	<,0001	
Variável	Estimador de Parâmetro		F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>		
Intercepta	2532,76		22,57	<,0001		
PB	47,2381		13,2	0,0009		
EE	32,5324		7,46	0,0099		
MM	-81,27		6,66	0,0143		

<sup>1</sup> Significância (Pr>F) da regressão.

<sup>2</sup> Significância (Pr>F) das variáveis.

ANEXO 7 – Modelo para a predição da energia digestível na matéria seca, em (kcal/kg), a partir de análises químicos (PB, MM, EE, ENN, EB) dos 38 alimentos completos para gatos

N-Var	Variável introduzida	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup> modelo	C (p)	F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>
1	EB	0.7087	0.7087	18.0688	87.58	<.0001
2	MM	0.0312	0.7399	14.498	4.19	0.0481
3	ENN	0.0186	0.7585	13.1675	2.62	0.1145
4	EE	0.0432	0.8016	7.4542	7.18	0.0114
5	PB	0.0237	0.8254	5.2136	4.35	0.0451
				F-Valor	Pr > F <sup>1</sup>	
Modelo		5		30.25	<.0001	
Variável		Estimador de Parâmetro		F-Valor	Pr > F <sup>2</sup>	
Intercepta		2500.763		3.44	0.073	
PB		-35.6432		4.35	0.0451	
EE		-76.2717		12.23	0.0014	
MM		-104.004		13.49	0.0009	
ENN		-59.4736		14.62	0.0006	
EB		1.46976		33.76	<.0001	

<sup>1</sup> Significância (Pr>F) da regressão.

<sup>2</sup> Significância (Pr>F) das variáveis.