

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DE CONSUMO VOLUNTÁRIO DE VACAS EM LACTAÇÃO

Prediction equations of dry matter intake for lactating cows

Fernando César Ferraz Lopes^{1,6}, Norberto Mario Rodriguez², Luiz Januário Magalhães Aroeira³, Ivan Barbosa Machado Sampaio⁴, Iran Borges⁵

RESUMO

Equações para predição de consumo voluntário de vacas em lactação foram revistas. Considerações acerca de métodos para sua construção foram feitas, com ênfase nos processos de seleção e inclusão de variáveis independentes, conforme relacionadas ao animal, alimento, manejo, alojamento e ambiente. Condições de aplicação, capacidade preditiva e validação das equações foram abordadas.

Palavras-chave: consumo de matéria seca, bovinos leiteiros, equações de regressão, modelos de predição, variáveis independentes.

ABSTRACT

Different prediction equations of dry matter intake for lactating cows were reviewed. Aspects regarding methods for development were considered and emphasis was done to selection and inclusion of independent variables to the model. The prediction parameters were discussed considering the diet, management, housing conditions, environment and animal factors. Analyzes concerned to development, application and predictive capacity of the models were considered.

Keywords: dairy cattle, dry matter intake, independent variables, intake models, prediction equations.

INTRODUÇÃO

Cerca de 30 variáveis relacionadas ao animal, alimento, manejo, alojamento e ambiente foram consideradas importantes na regulação do consumo de bovinos e, por conseguinte, na sua predição. Com base nestas, inúmeras equações para estimativa de consumo de vacas em lactação foram propostas, variando quanto ao delineamento, número e natureza dos parâmetros de predição incluídos (INGVARTSEN, 1994).

Em detrimento da exaustiva discussão de teorias e mecanismos de controle de consumo voluntário de vacas em lactação, foi objetivo desta revisão apresentar algumas equações representativas, discutindo com ênfase especial a seleção das variáveis independentes praticada na construção das mesmas.

Existem dois métodos gerais para a construção de modelos de predição de consumo, quais sejam, análises de regressão e a modelagem matemática, não sendo absoluta a divisão entre estes. O primeiro envolve mensurações de diversos parâmetros (variáveis independentes), incluindo o próprio

¹ Engº Agrº, Dr., Embrapa Gado de Leite - Rua Eugênio do Nascimento, 610 - Juiz de Fora-MG - *E-mail:* fcfl@cnppl.embrapa.br

² Bioq., PhD., Professor - Departamento de Zootecnia - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (EV-UFMG) - Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte-MG

³ Méd. Vet., Dr., Embrapa Gado de Leite

⁴ Engº Agrº, PhD., Professor - Dep. de Zootecnia - EV-UFMG

⁵ iZoot., Dr., Professor Dep. de Zootecnia - EV-UFMG.

consumo voluntário (variável dependente), seguindo-se análises de regressão múltipla na busca de uma equação empírica que proporcione melhor ajuste dos dados (FORBES, 1995). Este primeiro método é de inegável utilidade na predição de consumo, sendo, no entanto, de aplicação geralmente restrita às condições do banco de dados originais (STOCKDALE, 1985; ROSELER et al., 1997a). A maioria dos modelos de predição de consumo da literatura foram obtidos desta metodologia (INGVARTSEN, 1994).

O segundo método, baseado em modelos dinâmicos com equações mecánísticas, envolve a incorporação de princípios biológicos fundamentais e funções que descrevem relacionamentos entre fatores que são, provavelmente, a base do controle de consumo voluntário. Este segundo método é de menor acurácia na predição, em favor de ser mais geral na sua aplicação (FORBES, 1995). Nesta revisão, tais modelos não serão discutidos.

A preocupação inicial na construção de uma equação de predição refere-se à disponibilidade de um banco de dados, quer oriundo de experimento(s) planejado(s) para tal estudo, ou, ainda, advindo de compilações da literatura (ROSELER et al., 1997a). Segundo Roseler et al. (1997b), consistentes equações de predição de consumo só poderão ser obtidas de bancos de dados com variáveis referentes ao alimento, animal, manejo e condições ambientais. Além disso, faixas razoáveis de variação dos parâmetros preditores deverão ser igualmente consideradas (CONRAD et al., 1964; CURRAN; HOLMES, 1970; HOLTER et al., 1996, 1997), a fim de assegurarem uma inequívoca expressão da significância da variável nas técnicas de regressão múltipla (CURRAN; HOLMES, 1970; ROOK et al., 1991), bem como maior abrangência e aplicabilidade daquela equação. O número máximo disponível de dados deve ser buscado (ROOK et al., 1991), bem como garantida deve ser a sua independência (CURRAN et al., 1970; CAIRD; HOLMES, 1986).

Segundo Roseler et al. (1997a), várias equações na literatura foram desenvolvidas a partir de banco de dados incompletos nas descrições das variáveis. Além disso, a acurácia com que os dados experimentais foram obtidos (CURRAN; HOLMES, 1970), bem como o uso de metodologias diversas na obtenção de valores da mesma variável, são agravantes a prejudicar a construção das equações e, por conseqüência, a sua aplicabilidade (CAIRD; HOLMES, 1986; VAZQUEZ; SMITH, 2000).

Destas breves considerações depreende-se a dificuldade na obtenção de um banco de dados simultaneamente adequado aos objetivos do estudo e às exigências do tratamento estatístico *per se*, o

que pode ser parcialmente contornado, por simples descarte de informações incompletas (CURRAN; HOLMES, 1970; BROWN et al., 1977) ou por procedimentos de ajuste dos dados (ROSELER et al., 1997a; VAZQUEZ; SMITH, 2000).

Outro aspecto a ser observado é a aplicabilidade prática da equação obtida. Alguns autores desenvolveram equações mais completas e outras simplificadas para predição de consumo de vacas em lactação (Apêndices 1 e 2). Este esforço justifica-se desde que muitas das variáveis incluídas nas equações completas não são facilmente quantificáveis, e outras simplesmente não estão disponíveis para uso, na prática, por técnicos ou produtores de leite (ROOK et al., 1991; HOLTER et al., 1996). YUNGBLUT et al. (1981) discutiram acerca da complexidade matemática de certas equações da literatura. Preocupação semelhante tiveram Kabuga (1992) e Roseler et al. (1997b) que validaram equações por sua simplicidade e inclusão de parâmetros facilmente mensuráveis.

De modo geral, perdas no coeficiente de determinação múltipla (R^2) são observadas quando equações mais completas são comparadas com aquelas simplificadas, obtidas de mesmo banco de dados (ROOK et al., 1991; ROSELER et al., 1997a). Entretanto, isto deve ser visto como o tributo cobrado por permitir uma aplicabilidade quase imediata de uma equação em nível de fazenda. Evidentemente, há de se manter esta perda em níveis satisfatórios ao ponto de não haver prejuízo à capacidade preditiva da equação.

Algumas variáveis comumente usadas em equações de predição de consumo de vacas em lactação são, conforme Holter et al. (1997), citando diversos autores: peso vivo; produção de leite corrigida (4% de gordura); produção de proteína; correção para semana de lactação; percentagem de fibra em detergente neutro (FDN) ou fibra bruta (FB) na ração; mudanças de peso vivo; temperatura ambiente; estação do ano; e dias de gestação. Entretanto, variações e transformações destas são freqüentemente testadas e incorporadas nas equações de predição. Como exemplo, têm-se Curran e Holmes (1970) e Curran et al. (1970) que testaram a variável "peso vivo (PV)", expressa em libras (lb), bem como variantes desta ($PV^{0.73}$; $PV^{0.66}$). Brown et al. (1977) utilizaram no banco de dados final de seu estudo, bem como em sua equação, o efeito quadrático e transformações logarítmicas de algumas variáveis independentes. Artificio semelhante usaram Kertz et al. (1991), ao incluírem o efeito cúbico da variável "dias de lactação", melhorando o R^2 na equação obtida (Apêndice 2).

Outro aspecto na construção de equações de predição refere-se ao critério de seleção das variáveis disponíveis ao estudo e de suas variantes e transformações, conforme o caso. Na maioria dos trabalhos consultados foram utilizados procedimentos de *stepwise*, que permitem identificar e selecionar as variáveis com efeito significativo sobre o consumo voluntário (BROWN et al., 1977; HOLTER et al., 1996, 1997; LOPES, 2002).

Como regra simplista na construção de uma equação, procura-se selecionar e incluir variáveis independentes, apresentando maior coeficiente de correlação (r) com a variável dependente. Além disso, correlações entre múltiplos preditores podem significar dificuldades no desenvolvimento da equação (HOLTER et al., 1996), devendo, portanto, serem evitadas, o que nem sempre é permissível (CONRAD et al., 1964; HOLTER et al., 1996). Assim, um estudo dos coeficientes de correlação entre as variáveis utilizadas reveste-se de grande importância na percepção global dos principais relacionamentos existentes, auxiliando na seleção das variáveis e direcionando a construção da equação.

Em situações específicas, obtêm-se acréscimos insignificantes ou não justificáveis na confiabilidade de equações de predição, por meio de refinamentos em sua forma funcional (ROOK et al., 1991). No entanto, Kabuga (1992) sugeriu que a adição de fatores locais de ajuste poderia incrementar a acurácia de equações, permitindo serem utilizadas em situações que não aquelas em que foram desenvolvidas. Na equação para predição de consumo adotada no modelo de *Cornell* pode-se constatar o uso de fatores de correção tabelados (FOX et al., 1992). Esta estratégia foi utilizada por outros autores, que acrescentaram fatores de correção para minimizar desvios de predição não-passíveis de controle com o uso das variáveis independentes disponíveis ao estudo (ROSELER et al., 1997a).

A seguir foram feitas considerações acerca de variáveis independentes comumente incluídas em equações de predição de consumo de vacas em lactação, conforme estejam relacionadas ao animal, ao alimento, ao manejo, e às condições de alojamento e ambiente.

1. Variáveis relacionadas às características dos animais

1.1 Produção de leite

O NRC (2001) considerou produção de leite como agente causal sobre o consumo voluntário, a despeito da polêmica acerca do tema. De modo geral, constatou-se nas equações para predição de consumo de vacas em lactação a inclusão de algu-

ma variável ou combinações de variáveis concernentes à produção de leite (Apêndice 2). Roseler et al. (1997a) argumentaram que parâmetros de produção responderam por 45% da variação associada ao consumo de vacas em lactação. Para representar este efeito, têm-se observado variantes como: produção de leite corrigida (4% de gordura); energia química retida no leite e produção de proteína e/ou de gordura (Apêndice 2). Igualmente, efeito quadrático e transformações logarítmicas foram testadas e incluídas em equações de predição de consumo (Apêndice 2), desde que melhores ajustes tenham sido obtidos nas regressões.

Utilizando procedimentos de regressões simples, Rook et al. (1991) não observaram curvilinearidade para termos de produção. Conforme também verificado em outros trabalhos (Apêndice 2), variáveis relacionadas à produção foram superiores às de composição do leite na predição de consumo. No estudo de Rook et al. (1991), produção de leite foi de menor utilidade na predição de consumo que produção de energia ou de gordura, e maior R^2 em regressões múltiplas foi obtido, quando a produção de leite foi representada por "gordura + proteína". Roseler et al. (1997a) discutiram que, de modo geral, a "produção de proteína" apresentou maior coeficiente de correlação com consumo, seguida de "leite corrigido para energia" ou "produção de leite", e finalmente, "leite corrigido para gordura" ou "produção de gordura". Também Holter et al. (1996) encontraram maior correlação com consumo, da produção de proteína que produção de leite corrigida para gordura. Brigstocke et al. (1982), substituindo em uma das equações de Vadiveloo e Holmes (1979), produção de leite por aquela corrigida (4% de gordura), relataram melhoria na predição de consumo de vacas *Jersey*. Lopes (2002) também usou "produção de leite corrigida (4% de gordura)" em equações de predição de consumo de vacas Holandês x Zebu em lactação.

1.2 Peso vivo (PV)

Nas equações de predição de consumo o efeito desta variável foi representado sob diversas expressões e formas ou por meio de algumas combinações destas (Apêndice 2).

No início da lactação é comum às vacas mobilizarem reservas corporais em substituição ao consumo de alimentos, e, ao final desta, acumular reservas por ingerirem além das exigências de manutenção e produção (FORBES, 1995). Assim, "mudança de peso vivo" foi usada em equações de predição (ROOK et al., 1991; VAZQUEZ; SMITH, 2000), respondendo, segundo ROSELER et al. (1997a), por

5 a 10% da variação associada ao consumo. No entanto, esta variável é de difícil mensuração em períodos curtos para ruminantes, pela interpretação duvidosa devido ao caráter dinâmico do enchimento do trato gastrintestinal, e incerteza se o consumo é causa ou efeito da mobilização (FORBES, 1995).

Alguns autores (COPPOCK et al., 1974; BROWN et al., 1977; RAYBURN; FOX, 1993) incluíram peso vivo, de forma indireta, em equações de predição, ao expressarem o consumo relativo ao mesmo. No entanto, os valores de R^2 para estas equações foram menores que aqueles obtidos quando o consumo foi expresso em termos absolutos (Apêndice 2).

O uso de $PV^{0.75}$ reduziu valores de R^2 , e comportamentos linear ou quadrático de peso vivo melhor descreveram variações no consumo de vacas em lactação (BROWN et al., 1977). Roseler et al. (1997a) argumentaram que peso vivo e escore de condição corporal responderam, respectivamente, por 17 e 6% na variação no consumo de vacas em lactação. A variável “peso vivo após o parto” foi usada em equações de predição de consumo de vacas em lactação (ROOK et al., 1991; ROSELER et al., 1997a; LOPES, 2002).

1.3 Estádios de lactação e gestação

Uma sistemática superpredição de consumo de vacas no início da lactação é característica de muitas equações da literatura, em função do intervalo de tempo observado entre a máxima produção de leite e o máximo consumo de matéria seca (ROSELER et al., 1997a). Assim, estes autores usaram “funções de atraso” (*lag functions*), calculadas dos termos “semana de lactação” e “mês do pico de produção de leite” (Apêndice 2), para melhorar a predição nas 16 semanas pós-parto. Expediente semelhante fez uso o NRC (2001) ao recomendar uma equação de Rayburn e Fox (1993), acrescida de um fator de ajuste para semana de lactação, desenvolvido por Roseler et al. (1997a). Esse fator de ajuste também foi usado em uma equação do modelo de *Cornell* versão 4.0 (FOX et al., 2000). O uso de equações segmentadas (Apêndice 2) é outra possibilidade para contornar desvios de predição de consumo no início da lactação, resultando em melhorias na capacidade preditiva. Rook et al. (1991) apresentaram equações (Apêndice 2) em que o efeito do tempo foi ajustado para predição de consumo nas semanas de lactação 3 a 9 ou 10 a 20. Entretanto, discutiram acerca da descontinuidade e da discrepância na predição de consumo na interseção (semanas 9 a 10) entre ambas.

Vários autores recomendaram a inclusão de

um termo para estágio de lactação em equações de predição do consumo de vacas (CURRAN; HOLMES, 1970; FORBES, 1995; FUENTES-PILA et al., 1996). Transformações logarítmicas para semanas ou dias de lactação (BROWN et al., 1977; HOLTER et al., 1996, 1997; ROSELER et al., 1997a) e introdução de relacionamentos quadrático (ROOK et al., 1991; HOLTER et al., 1997) ou cúbico (KERTZ et al., 1991) foram opções utilizadas para melhores ajustes das regressões. Fuentes-Pila et al. (1996) ao validarem uma equação de Kertz et al. (1991) mostraram que esta foi hábil em melhorar a predição de consumo nas oito primeiras semanas de lactação, e o efeito cúbico pode ter sido responsável por aumentar o erro de predição nas semanas seguintes.

Estádio de gestação é outra variável que afeta o consumo de vacas em lactação (AFRC, 1991), não sendo, entretanto, correntemente incluída em equações de predição (INGVARTSEN, 1994). Este último autor argumentou que a capacidade de consumo concernente ao efeito de preenchimento do trato gastrintestinal é deprimida em cerca de 1,53%/semana, a partir da 26ª semana de gestação. Na presente revisão, verificou-se tal variável em poucas equações (COPPOCK et al., 1974; ROSELER et al., 1997a).

1.4 Ordem de lactação

Diversos procedimentos para incorporação do efeito desta variável foram utilizados (Apêndice 2). Kertz et al. (1991) incluíram um fator de correção para vacas primíparas em equações de predição de consumo. Já Roseler et al. (1997a) optaram por prever consumo de vacas primíparas e múltiparas em equações distintas. Holter et al. (1997) também propuseram equações distintas para predição de consumo de vacas (não compiladas no Apêndice 2), em contraste a uma outra geral (Apêndice 2), em que estas categorias foram combinadas, e uma variável para ordem de lactação, incluída. As equações separadas apresentaram maiores R^2 e menores desvios padrões em comparação à combinada, razão pela qual foram recomendadas, com a vantagem adicional de serem mais simples.

O uso da variável “idade da vaca”, que de certa forma inclui alguma informação acerca da ordem de lactação, foi relatado nas equações de Curran e Holmes (1970).

1.5 Raça

Brigstocke et al. (1982) sugeriram que consumos por unidade de peso vivo são maiores para vacas *Jersey* em comparação com aqueles de outras raças, efeito este provavelmente associado

à produção de leite com altos teores de gordura. Estes autores avaliaram três equações, constatando sua ineficácia na predição de consumo de vacas Jersey em lactação. A maioria das equações da literatura foi baseada em dados de vacas de específica raça, não incluindo tal variável em sua predição de consumo (INGVARTSEN, 1994). Isto pôde ser constatado em equações obtidas para vacas da raça Holandesa (HOLTER et al., 1997; ROSELER et al., 1997a; NRC, 2001), Jersey (HOLTER et al., 1996), ou, ainda, mestiças Holandês x Zebu (LOPES, 2002). Vários autores (BROWN et al., 1977; VADIVELLOO; HOLMES, 1979; VAZQUEZ; SMITH, 2000) utilizaram dados advindos de duas ou mais raças, embora não incluindo este efeito como variável nas equações. Na versão 4.0 do modelo de Cornell (FOX et al., 2000) foi incluída equação para predição de consumo de vacas de duplo propósito.

2. Variáveis relacionadas às características dos alimentos

2.1 Ingredientes da dieta

O AFRC (1991) considerou o nível de suplementação concentrada como o principal fator afetando o consumo de silagem, e Caird e Holmes (1986) argumentaram que sua provisão aumenta o consumo total de acordo com as condições da pastagem. Assim, a variável "consumo de concentrados" foi incluída em equações, com seu efeito descrito de forma linear ou quadrática (Apêndice 2). Reciprocamente, percentagem de forragem (TERADA et al., 1997) ou de silagem (HOLTER et al., 1996, 1997) na dieta foram variáveis incluídas em equações de predição de consumo (Apêndice 2). O uso de variável para nível total de suplementação indicou efeito de substituição sobre o consumo de pastagem de vacas em lactação (VAZQUEZ; SMITH, 2000). LOPES (2002) apresentou equações em que o consumo do suplemento volumoso (cana x uréia) da pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) foi incluído na predição do consumo de vacas Holandês x Zebu. Vazquez e Smith (2000) utilizaram variável para proporção de leguminosas em pastagens consorciadas (Apêndice 2).

2.2 Digestibilidade e composição química da dieta

Conrad et al. (1964) discutiram como a regulação física ou metabólica do consumo varia de acordo com os níveis de digestibilidade da dieta, incorporando esta variável em duas equações de predição de consumo de vacas em lactação a pasto.

Além disso, o termo indigestibilidade, representado pela produção fecal, foi incluído na equação regida pela regulação física. Usando as equações de Conrad et al. (1964), Forbes (1977) desenvolveu um modelo iterativo de consumo de vacas leiteiras, para estudar relacionamentos entre limitações físicas e metabólicas. Sob similar enfoque, Mertens (1987) também apresentou um modelo matemático para predição de consumo (Apêndice 2).

Efeitos linear e quadrático da variável "digestibilidade" foram incluídos em várias equações de predição de consumo (Apêndice 2). Ao contrário, Curran e Holmes (1970) não encontraram significância para ambos. Segundo Caird e Holmes (1986), a inclusão da variável digestibilidade da forragem ainda que promovesse aumentos no R^2 das equações originou, à validação, predições menos acuradas, fato atribuído à variação nas técnicas laboratoriais de obtenção de seus valores.

Sendo o consumo de forragem inversamente relacionado ao conteúdo de componentes da parede celular (FORBES, 1995), a variável FDN, bem como fibra em detergente ácido (FDA) e FB, tiveram seus efeitos incluídos de forma linear ou quadrática em equações de predição de consumo (Apêndice 2). Roseler et al. (1997a) não encontraram significância para concentrações dietéticas de FDN ou FDA, provavelmente associado ao uso de dietas de densidade energética alta, cujo consumo não foi regulado por fatores físicos. Holter et al. (1996) relataram o teor de FDA na dieta como melhor preditor que aquele na forragem, e semelhança para o uso das variáveis FDA e FDN.

Equações para predição de consumo de FDN (RAYBURN; FOX, 1993) e FB (RUIZ; MENCHACA, 1990) para vacas em lactação foram apresentadas. Parâmetros outros da composição química, como por exemplo, matéria seca, proteína bruta, gordura, energia líquida ou digestível, foram usados, embora menos freqüentemente (Apêndice 2). LEWIS (1981) citado por NEAL et al. (1984) incluiu as variáveis teor de matéria seca e concentração de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) na silagem, funcionando a última como índice da qualidade da fermentação. Rook et al. (1991) usaram $N-NH_3$ em suas equações de predição de consumo de silagem, além do efeito quadrático de pH. Huhtanen et al. (2002) propuseram um índice para predição do consumo potencial de silagem de gramíneas e leguminosas temperadas, baseado em dados de digestibilidade, de $N-NH_3$ e ácidos da fermentação (ácidos graxos voláteis + ácido láctico).

2.3 Parâmetros de digestibilidade ruminal *in situ* e taxa de passagem no rúmen

Madsen et al. (1994) desenvolveram equações (Apêndice 2) nas quais parâmetros de degradação ruminal *in situ* do alimento foram combinados com taxa de passagem, para estimar o enchimento físico do rúmen (*rumen-fill*) e daí o consumo potencial do alimento. Como o *rumen-fill* é principalmente causado pela fração fibrosa do alimento, as variáveis de degradação e de taxa de passagem foram baseadas na FDN da forrageira avaliada. Stensig et al. (1994) enfatizaram que outros fatores afetando o consumo, como palatabilidade dos alimentos e regulação metabólica não foram considerados nestas equações, descredenciando-as para uso mais generalizado na predição de consumo.

3. Variáveis relacionadas às características do manejo

Efeitos linear ou quadrático de variáveis concernentes ao manejo de pastagens (disponibilidade, altura, resíduo de forragem, etc.) foram apresentadas (MEIJS; HOEKSTRA, 1984; PEYRAUD et al., 1996). Equações diferenciadas para pastejo contínuo ou rotacionado foram descritas (CAIRD; HOLMES, 1986).

Tratamento com somatotropina bovina (bST) destaca-se como variável de manejo de vacas em lactação, considerada em alguns estudos (HOLTER et al., 1996, 1997). Equações que, embora não incluíssem esta variável, foram desenvolvidas com dados de vacas tratadas com bST, sendo aplicáveis para animais sob este manejo (ROSELER et al., 1997a).

4. Variáveis relacionadas às condições de alojamento e ambiente

Diversos estudos com vacas confinadas, mas proporcionalmente poucos, com estas mantidas a pasto foram constatados na literatura. E destes últimos, apenas Lopes (2002) incluiu uma variável relacionada a clima (precipitação pluviométrica). Este foi o único trabalho da literatura consultada em que equações para predição de consumo de pastagem tropical (capim-elefante) foram desenvolvidas para vacas em lactação. Ressalte-se, no entanto, que no uso dessas equações, devem ser sempre observadas as condições originais do banco de dados.

Com banco de dados de vacas confinadas, Roseler et al. (1997a) mostraram que parâmetros climáticos responderam por 10% da variação no consumo e efetivaram ajustes de acordo com a temperatura e umidade, para a predição de consumo destes animais. As duas principais variáveis ineren-

tes ao clima, selecionadas em equações de consumo foram temperatura (FOX et al., 1992; TERADA et al., 1997; FOX et al., 2000) e umidade relativa do ar (TERADA et al., 1997). Relacionamentos matemáticos destas (índices de temperatura-umidade) foram incluídos nos trabalhos de Holter et al. (1996, 1997).

Aspectos da validação de equações de predição de consumo de vacas em lactação

Equações de predição podem ser comparadas e selecionadas pelo R^2 , quadrado médio do erro e, quando da validação com bancos de dados independentes, pelos desvios da predição e pela decomposição do quadrado médio do erro da predição (ROSELER et al., 1997a).

Uma equação pode ser considerada "robusta" quando suas predições são aceitáveis mesmo se aplicadas a circunstâncias outras que não aquelas representadas pelo banco de dados do qual foi originada (FUENTES-PILA et al., 1996). Neste estudo, sete equações foram validadas, e nenhuma considerada hábil para predizer consumo individual com erro menor que 20%, valor este considerado pelos autores como o mínimo aceitável. Rook et al. (1991) validaram várias equações e consideraram desapontadoras as estimativas obtidas nas predições individuais de consumo, mas suficientes para predição do consumo médio de vacas alimentadas em grupos. Kabuga (1992) validou, para condições tropicais, equações desenvolvidas em regiões de climas temperado ou subtropical; e Caird e Holmes (1986), com banco de dados de vacas em lactação sob pastejo, validaram equações originalmente obtidas com animais confinados. As conclusões de ambos podem ser consideradas semelhantes na medida em que algumas equações forneceram valores de consumo, ainda que não acurados, mas com aceitáveis erros de predição, mostrando que a adição de um termo de ajuste local poderia auxiliar na obtenção de melhores estimativas.

Nos trabalhos que validaram equações de predição, pôde-se constatar uma generalizada inacurácia nas estimativas de consumo das fases inicial, principalmente, mas também final da lactação. E, ainda, equações com diferentes capacidades preditivas de acordo com o estágio da lactação (KABUGA, 1992).

COMENTÁRIOS

A disponibilidade de banco de dados que atenda aos objetivos do estudo e às exigências

estatísticas *per se* é o principal obstáculo para o desenvolvimento de equações de predição de consumo de vacas em lactação. A esta prévia existência de informações, faz-se necessária sensibilidade científica e prática para percepção e inclusão nas equações, de variáveis, englobando características do animal, alimento, manejo, alojamento e do ambiente.

Um maior número de estudos para obtenção de equações para predição de consumo de vacas em lactação em pastagens tropicais deve ser conduzido.

Apêndice 1: Abreviações (em ordem alfabética) e descrições das variáveis utilizadas nas equações para predição de consumo de vacas em lactação, apresentadas no **Apêndice 2**

a = Intercepto com o eixo Y; **ACE** = Altura à cernelha (cm); **ALT** = Altura do pasto (cm); **b** = Fração insolúvel, potencialmente degradável (%); **AREA** = Área de pasto disponível às vacas por dia (m^2/dia); **AT** = Ácidos totais (ácidos graxos voláteis + ácido láctico) da fermentação (g/kg de matéria seca - MS); **bST** = bST (1 = sim; 2 = não); **c** = Taxa de degradação (%/h); **CAB₁** ou **CAB₂** = Disponibilidade de forragem (respectivamente, em kg de matéria orgânica - MO/cab/dia ou kg de MS/cab/dia); **CANA** = Consumo de cana x uréia (kg/dia); **CFB** = Consumo de fibra bruta (g/kg^{0.75}/vaca/dia); **CC₁** (kg de MO/dia) ou **CC₂** (lb/dia) ou **CC₃** (kg de MS/dia) ou **CC₄** (g/kg^{0.75}/dia) = Consumo de concentrados; **CCFDN** = Capacidade de consumo (kg de FDN/dia); **CMO** = Consumo de MO (kg/dia); **CMOD** = Consumo de MO digestível (lb/dia); **CMOF** = Consumo de MO de forragem (kg/vaca/dia); **CMS** = Consumo de MS (kg/dia); **CMS₁** = CMS (kg/dia) quando fatores metabólicos são dominantes na regulação; **CMS₂** = CMS (kg/dia) quando mecanismos físicos são dominantes na regulação; **CMSF** = Consumo de forragem (kg de MS/dia); **CMS_{lb}** = CMS (lb/dia); **CMSS** = Consumo de silagem (kg de MS/dia); **CMSS₁** ou **CMSS₂** = Consumo potencial de silagem (g de MS/kg^{0.75}), respectivamente fornecida como único alimento ou em TMRs; **CORR₁** e **CORR₂** = Correção para temperatura e lama, respectivamente (FOX et al., 1992); **CORR₃** = Correção para 1ª lactação = -1,30; **CPFDN** = Consumo potencial de FDN (kg/dia); **CPMS** = Consumo potencial de MS (kg/dia); **CR** = Capacidade do rúmen (kg de FDN); **CTE** = Coef. para estação do ano; **D** = Digestibilidade da MS (%); **D_(t)** = Fração degradada no tempo t de incubação (%); **DAMS** = Digest. aparente da MS (%); **DE** = Duração do experimento (curta = +1; longa = -1); **DEL** = Dias em

lactação (dias); **DF** = Digest. aparente da forragem (%); **DG** = Dias em gestação (dias); **DIA** = Dia do ano (efeito de estação do ano); **DIGF** = Digest. *in vitro* da forragem (%MS); **DISP₁** (t de MO/ha) ou **DISP₂** (kg de MS/ha) = Disp. de forragem; **DMO** = Digest. da MO da pastagem (%MS); **DMOS** = Digest. da MO da silagem (%); **EL_{CONC}** (concentrado) ou **EL_{FORR}** (forragem) = energia líquida (EL, Mcal/kgMS); **EL_L** = EL da lactação-EL_L (Mcal/kgMS); **EL_{m+a+n}** = Exigência de energia líquida para manutenção, ajustada para condições de clima, para atividade e para excesso de nitrogênio (Mcal/kg); **E_{m+pp}** = Teor de energia química no leite + energia de produção da proteína retida (MJ/dia); **F** ou **FB** ou **FDA** ou **FDN** = Respectivamente, % de forragem, FB, FDA ou FDN na dieta; **FDN_{CONC}** = % de FDN no concentrado; **FDN_{FORR}** = % de FDN na forragem; **FDN_{PAS}** = FDN na pastagem disponível (%MS); **FDN_{SEL}** = FDN na pastagem selecionada (%MS); **FILL** = Enchimento ruminal (dias); **GL** = % de gordura no leite; **GOR** = Gordura na dieta (%MS); **I** = Idade da vaca (anos); **INDEX** = Índice de temperatura mínima diária e umidade relativa do ar [$^{\circ}F - (0,55 - 0,55 \cdot UR\% / 100) \cdot (^{\circ}F - 58)$]; **k** = Taxa de passagem no rúmen (%/h); **LAG** = Função de atraso p/ SL £ 16 (valores tabelados em ROSELER et al., 1997a); **LEG** = Proporção de leguminosas na pastagem; **MF₁** (/1000 lb de PV/dia) ou **MF₂** (kg/dia) = MS fecal; **MPV₁** (lb/dia) ou **MPV₂** (kg/semana) ou **MPV₃** (kg/dia) = Mudança de PV; **MPVP** = Mudança de PV após o parto (kg); **MSD** = % de MS na dieta; **MSS** = % de MS na silagem; **N-NH₃** = Nitrogênio amoniacal na silagem (g/kg N); **OP** = Ordem de parto; **PB** = % de proteína bruta na dieta; **PER** = Perímetro torácico (cm); **PG** = Produção de gordura (kg/dia); **PKMK** = mês após o parto em que ocorre o pico de produção de leite; **PL** = Prod. de leite (kg/dia); **PLCG** = Prod. de leite corrigida p/ 4% de gordura (kg/dia); **PP** = Precipitação pluviométrica mensal (mm); **PPG** = pico da % de gordura no leite; **PPL** = Prod. de proteína (kg/dia); **PROL** = % de proteína no leite; **PV** = Peso vivo (kg); **PV_{lb}** = Peso vivo (lb); **PVP** = PV após o parto (kg); **PVV** (kg) = *shrunk body weight*, definido como 96% do peso vivo (FOX et al., 2000); **REL_L** = Exigência de EL_L (Mcal/dia); **RES** = Forragem residual após pastejo (kg de MS/ha); **SEM** = Semana após 01/01; **SIL** = % de MS de forragem referente a silagens; **SL** = Semana de lactação (1, 2, ..., n); **SM** = % de MS de forragem, consistindo de silagem de milho; **SUP** = Consumo de suplementos (kg de MS/vaca/dia); **T** = Temperatura média ($^{\circ}C$); **t** = Tempo de incubação (h); **TC** = Tempo de colonização (h); **TP** = Tipo de pastagem (+1 = *Paspalum* ou -1 = outras); **UR** =

Umidade média relativa do ar (%).

Apêndice 2: Equações de predição de consumo de vacas em lactação (Nota: em função de diferentes variáveis dependentes e/ou independentes usadas, mais do que uma equação pode, eventualmente, ser apresentada dentro de uma mesma referência bibliográfica).

→ **BROWN et al. (1977):** $\ln(\text{CMS}) = 0,519776 + (\text{CTE}) - 0,000827(\text{DEL}) + 0,148073(\ln\text{DEL}) + 0,339220(\ln\text{PL}) + 0,099266(\text{PG}) + 0,000675(\text{PV}) + 0,018001(\text{FB}) - 0,000557(\text{FB})^2$ ($R^2 = 0,74$; desvio padrão do erro - DPE = 1,79 kg/dia; n = 4839 obs. de vacas Holandesas ou Jersey confinadas; CTE @ outono-inverno = 0,41770; primavera = -0,004122; verão = -0,037648)

→ **CAIRD; HOLMES (1986):** $\text{CMO} = 0,177(\text{PL}) + 0,010(\text{PV}) + 1,636(\text{CC}_1) - 1,008(\text{DISP}_1) + 0,540(\text{CAB}_1) - 0,006(\text{CAB}_1)^2 - 0,048(\text{CAB}_1 \times \text{CC}_1) + 0,323$ ($R^2 = 0,677$; DPE = 1,91 kg de MO/dia; n = 165 vacas em pastejo rotacionado em pastagem temperada); $\text{CMO} = 0,208(\text{PL}) + 0,004(\text{PV}) + 0,069(\text{SL}) - 0,118(\text{CC}_1) - 0,289(\text{ALT}) + 0,133(\text{CC}_1 \times \text{ALT}) - 0,011(\text{SEM}) + 8,228$ ($R^2 = 0,54$; DPE = 2,52 kg de MO/dia; n = 144 vacas em pastejo contínuo em pastagem temperada); $\text{CMO} = 0,323(\text{PL}) - 0,006(\text{PV}) + 0,113(\text{SL}) + 3,142(\text{CC}_1) + 3,613(\text{ALT}) - 0,543(\text{CC}_1 \times \text{ALT}) + 0,019(\text{SEM}) - 9,791$ ($R^2 = 0,86$; DPE = 1,55 kg de MO/dia; n = 52 vacas em pastagem temperada com £ 5 cm de altura)

→ **CONRAD et al. (1964):** Se 67 £ DAMS £ 80, $\log\text{CMS}_{\text{lb}} = 0,5536 - 0,461[\log(\text{DAMS})] + 0,513[(\log(\text{PV}_{\text{lb}}))] + 0,251[(\log(\text{E}_{\text{m+p}}))]$ ($R^2 = 0,83$); Se 52 £ DAMS £ 66, $\log\text{CMS}_{\text{lb}} = 1,53[(\log(\text{DAMS})] + 1,01[(\log(\text{MF}_1))] + 0,99[(\log(\text{PV}_{\text{lb}}))] - 5,296$ ($R^2 = 0,99$; n = 114 exp., vacas Jersey e Holandesas)

→ **CURRAN; HOLMES (1970):** CMO (lb/dia) = $-19,939 + 0,159(\text{PV}^{0,73}, \text{lb}) + 0,261(\text{PLCG}, \text{lb/dia}) + 0,206(\text{DMO}^*) - 0,517(\text{I}) + 0,166(\text{SL})^*$ ($R^2 = 0,42$; DPE = 3,484 lb/dia); CMO (lb/dia) = $-5,044 + 0,164(\text{PV}^{0,73}, \text{lb}) + 0,2721(\text{PLCG}, \text{lb/dia}) - 0,495(\text{I}) + 0,148(\text{SL})^*$ ($R^2 = 0,412$; DPE = 3,478 lb/dia); CMO (lb/dia) = $-3,559 + 0,181(\text{PV}^{0,73}, \text{lb}) + 0,222(\text{PLCG}, \text{lb/dia}) - 0,487(\text{I})$ ($R^2 = 0,38$; DPE = 3,534 lb/dia); $\text{CMOD} = -37,503 + 0,122(\text{PV}^{0,73}, \text{lb}) + 0,201(\text{PLCG}, \text{lb/dia}) + 0,448(\text{DMO}^*) - 0,399(\text{I}) + 0,131(\text{SL})^*$ ($R^2 = 0,46$; DPE = 2,703 lb/dia); $\text{CMOD} = -30,005 + 0,138(\text{PV}^{0,73}, \text{lb}) + 0,165(\text{PLCG}, \text{lb/dia}) + 0,361(\text{DMO}^*) - 0,384(\text{I})$ ($R^2 = 0,43$; DPE = 2,761 lb/dia); (n = 5 exp., 72 vacas em pastagens temperadas com ou sem suplementação concentrada; * = não significativo - NS)

→ **CURRAN et al. (1970):** Se SL = 1-4, logo $\text{CMOD} = -14,000 + 0,217(\text{MPV}_1) + 0,639(\text{CC}_2) + 0,460(\text{DF})$

$- 0,172(\text{PL}, \text{lb/dia}) + 0,003(\text{PL}, \text{lb/dia})^2$ ($R^2 = 0,95$; DPE = 1,118 lb/dia; n = 51 obs. de vacas confinadas); Se SL = 5-8, então $\text{CMOD} = 42,908 + 0,728(\text{CC}_2) - 1,667(\text{DF}) + 0,019(\text{DF})^2$ ($R^2 = 0,88$; DPE = 1,372 lb/dia; n = 65 obs. de vacas confinadas); Se SL = 9-12, então $\text{CMOD} = -19,337 + 1,192(\text{CC}_2) + 0,366(\text{DF}) + 0,246(\text{PL}, \text{lb/dia}) - 0,0014(\text{PL}, \text{lb/dia} \times \text{CC}_2)$ ($R^2 = 0,87$; DPE = 1,218 lb/dia; n = 56 obs. de vacas confinadas); Se SL = 13-16, logo $\text{CMOD} = -11,228 + 0,588(\text{CC}_2) + 0,358(\text{DF}) + 0,075(\text{PL}, \text{lb/dia})$ ($R^2 = 0,93$; DPE = 0,894 lb/dia; n = 36 obs. de vacas confinadas)

→ **FORBES (1977):** $\text{CMS} =$ menor valor entre CMS_1 e CMS_2 ; $\log\text{CMS}_1 = [0,55 - 0,46 \cdot \log(\text{D}) + 0,51 \cdot \log(2,2\text{PV}) + 0,25 \cdot \log(0,24 \cdot \text{E}_{\text{m+p}})] / 0,45$; $\log\text{CMS}_2 = [1,53 \cdot \log(\text{D}) + 1,01 \cdot \log(2,20 \cdot \text{MF}_2) + 0,99 \cdot \log(2,2 \cdot \text{PV}) - 5,30] / 0,45$; $\text{MF}_2 = \{[(\text{PVP}/5) - (\text{MPVP}/3)] / (\text{PVP}/5)\} \cdot 4,0$ (Modelo estático)

→ **FOX et al. (1992):** $\text{CMS} = 0,0185(\text{PVV}) + 0,305[0,4 + 0,15(\text{GL}) \cdot (\text{PL})] \cdot \text{CORR}_1 \cdot \text{CORR}_2$

→ **FOX et al. (2000)** – Equações do modelo de Cornell versão 4.0: $\text{CMS} = \{0,0185(\text{PV}) + 0,305[0,4 + 0,15(\text{GL}) \cdot (\text{PL}) \cdot \text{CORR}_1 \cdot \text{CORR}_2]\} \cdot \text{LAG}$. Obs.: se SL £ 16 então $\text{LAG} = 1 - \text{EXP}(-0,564 - 0,124 \cdot \text{PKMK}) \cdot (\text{SL} + \text{P})$. Caso contrário, $\text{LAG} = 1$; $\text{P} = 2,36$ para $\text{PKMK} = 1$ ou 2 e $\text{P} = 3,67$ para $\text{PKMK} = 3$ (Equação para vacas de raças leiteiras em lactação); $\text{CMS} = (\text{PPV}^{0,75}) \cdot [0,1462(\text{EL}_{\text{m+a+N}}) - 0,0517(\text{EL}_{\text{m+a+N}})^2 - 0,0074] + 0,305(\text{FCM}) + \text{C}$, onde $\text{FCM} = (0,4 \cdot \text{PL}) + (15 \cdot \text{PL} \cdot \text{PPG})$ (Equação para vacas de duplo propósito em lactação, onde $\text{C} = 1,7$ se $\text{PL} > 15$ kg/dia. Caso contrário, $\text{C} = 0$).

→ **HOLTER et al. (1996):** $\text{CMS} = -4715,60 - 0,552(\text{OP}) - 1,557(\text{bST}) + 0,559(\text{OP} \times \text{bST}) - 0,022(\text{DEL}) + 3,679(\ln\text{DEL}) + 0,00001571(\text{PV})^2 + 0,3274(\text{PLCG}) + 0,2458(\text{SM}) - 0,001547(\text{SM})^2 - 0,03388(\text{SIL}) - 57,328(\text{INDEX}) + 0,2255(\text{INDEX})^2 + 1790,71(\ln\text{INDEX})$; se $\text{DEL} < 15$, então $\text{DEL} = 15$; $\text{OP} = 1$ vs. 2; ($R^2 = 0,69$; DPE = 1,86 kg/dia; n = 666 obs. semanais individuais de 58 vacas Jersey, recebendo dietas totais – TMRs (free-stalls); equação para predição de consumo individual, quando composição da ração final consumida não é previamente conhecida); $\text{CMS} = -6854,49 - 0,6106(\text{OP}) - 1,184(\text{bST}) + 0,544(\text{OP} \times \text{bST}) - 0,01865(\text{DEL}) + 3,595(\ln\text{DEL}) - 1,0326(\text{PV}) + 0,000626(\text{PV})^2 + 214,58(\ln\text{PV}) + 0,3730(\text{PLCG}) - 5,153(\text{FDA}) + 0,1133(\text{FDA})^2 - 1,840(\text{GOR}) + 0,1406(\text{GOR})^2 - 68,634(\text{INDEX}) + 0,2618(\text{INDEX})^2 + 2226,57(\ln\text{INDEX})$; se $\text{DEL} < 15$, então $\text{DEL} = 15$; $\text{OP} = 1$ vs. 2 ($R^2 = 0,74$; DPE = 1,78 kg/dia; n = 666 obs. semanais individuais de 58 vacas Jersey (free-stalls), recebendo TMRs; equação para ser usada quando composição da ração final consumida é

previamente conhecida, como no caso de animais alimentados em grupos)

→ **HOLTER et al. (1997):** $CMS = -40,059 + 0,528(OP) - 2,965(bST) - 0,00298(DIA) + 0,00000810(DIA)^2 - 0,0299(DEL) + 0,0000397(DEL)^2 + 2,802(\ln DEL) + 5,912(\ln PV) + 20,476(PPL) - 3,633(PPL)^2 - 2,461(\ln PPL) + 0,000164(SM)^2 - 0,0340(SIL)$; Para $DEL > 14$ dias; $OP = 1$ vs. 2 ($R^2 = 0,79$; DPE = 1,65 kg/dia; n = 3.986 obs. de 390 vacas Holandesas confinadas; equação para uso quando composição da ração consumida individualmente não é previamente conhecida; $CMS = 2,156 + 0,477(OP) - 2,588(bST) - 0,0197(DEL) + 0,0000218(DEL)^2 + 2,763(\ln DEL) + 0,00895(PV) + 0,0817(PLCG) + 0,00177(PLCG)^2 + 9,805(PPL) - 2,053(PPL)^2 + 0,108(PB) - 0,142(GOR) - 0,515(FDN) + 0,006(FDN)^2 + 0,0664(CC_3) - 0,000941(CC_3)^2$; $OP = 1$ vs. 2 ($R^2 = 0,81$; DPE = 1,60 kg/dia; n = 3.986 obs. de 390 vacas Holandesas confinadas; equação para uso quando composição da ração consumida é previamente conhecida, como para vacas alimentadas em grupos); (ajuste para stress térmico, vide HOLTER et al., 1997)

→ **HUHTANEN et al. (2002):** Índice para $CMSS$ (potencial) = $100 + 0,151(D - 69) - 0,000531(AT^2 - 6400) - 4,7650[\ln(N-NH_3) - \ln(50)]$ [Relacionamento conceitual baseado em estudos (n = 106) com vacas em lactação consumindo (> 15 kg/dia) silagens de gramíneas e leguminosas temperadas suplementadas com concentrados (> 30% da MS da dieta). Coef. de regressão corrigidos para cons. médio de 10 kg/dia. Valores de 69; 80 e 50 usados como padrões de digest. da MS (%), ác. totais (g/kg de MS) e N-NH₃ (g/kg N), respectivamente]

→ **KERTZ et al. (1991):** $CMS = 0,008037(PV) + 0,3134(PLCG) + 0,2286(DEL) - 0,002176(DEL)^2 + 0,00000705(DEL)^3$ ($R^2 = 0,64$; CV = 11,1%; n = 18 exp.; 716 vacas (tie-stalls), do parto à 20ª SL); $CMS = 13,08 + 0,1468(PLCG) - 0,003912(PV) + (CORR_3) @ SL=1$; $CMS = 12,04 + 0,1951(PLCG) - 0,001136(PV) + (CORR_3) @ SL=2$; $CMS = 10,89 + 0,2061(PLCG) - 0,002867(PV) + (CORR_3) @ SL=3$; $CMS = 10,19 + 0,2365(PLCG) - 0,004073(PV) + (CORR_3) @ SL=4$; $CMS = 9,32 + 0,3031(PLCG) - 0,003478(PV) + (CORR_3) @ SL=5$; $CMS = 9,09 + 0,3090(PLCG) - 0,005115(PV) + (CORR_3) @ SL=6$ a 8; $CMS = 7,43 + 0,3008(PLCG) - 0,010060(PV) + (CORR_3) @ SL=9$ a 13; $CMS = 6,65 + 0,3428(PLCG) - 0,010553(PV) + (CORR_3) @ SL=14$ a 20 (R^2 não apresentados)

→ **LEWIS (1981) citado por NEAL et al. (1984):** $CMSS_1 = 0,103(MSS) + 0,0516(DMOS) - 0,05(N-NH_3) + 45,0$; $CMSS_2 = 1,068(CMSS_1) - 0,00247(CC_4 \times CMSS_1) - 0,00337(CC_4)^2 - 10,9$; $CMS = [CMSS_2$

$(PV)^{0,75}/1000] + CC_3 + 0,00175(PL)^2$

→ **LOPES (2002):** $CMS = -4,4838 + 0,0121(PVP) + 0,1743(DIGF) - 0,8402(CANA) + 0,0056(PP)$ ($R^2 = 0,65$; DPE = 2,68 kg/dia; CV = 28,4%); $CMS = -6,5558 + 0,01303(PV) + 0,1700(DIGF) - 0,7183(CANA) - 0,4247(CC_2) + 0,3153(PLCG) + 0,0050(PP)$ ($R^2 = 0,67$; DPE = 2,62 kg/dia; CV = 27,9%); $CMS (\%PV) = -0,1535 + 0,0339(DIGF) - 0,1506(CANA) - 0,0839(CC_2) + 0,0536(PLCG) + 0,012(PP)$ ($R^2 = 0,66$; DPE = 0,54 kg/dia; CV = 27,9%) (Equações gerais de predição de consumo diário de MS de pastagem de capim-elefante por vacas mestiças Holandês x Zebu em lactação; n = 3.163 observações)

→ **MADSEN et al. (1994):** $FILL = [(1-a-b)/k + b/(c+k)]/24$ ou $FILL = \{[(1-a)/k] \times [1 - e^{-kTC}]\}^* \{[(1-a-b)]^* [e^{-kTC} + (c+k)e^{-kTC}]/24$ ou $FILL = S \{[1 - D(t_1, t_2) + D(t_1)/2] \times [(t_{i+1} - t_i)]^* [e^{-k t_i} + 1 + e^{-k t_{i+1}}]/2\}/24$; $CPFDN = CR/FILL$; $CPMS = (1/FDN) \times CPFDN$ (Segundo os autores, os cálculos dos valores de FILL foram baseados em equações da literatura).

→ **MEIJS; HOEKSTRA (1984):** $CMOF = -0,61 + 0,981(CAB_1) + 0,479(CC_1) - 0,039(CAB_1 \times CC_1) - 0,014(CC_1)^2$ ($R^2 = 0,90$; DPE = 0,78 kg de MO/dia; n = 117 obs., 2 exp., 24 vacas Holandesas em pastagens temperadas suplementadas com concentrados)

→ **MERTENS (1987):** $CMS =$ menor valor entre CMS_1 e CMS_2 ; $CMS_1 = REL_L/EL_L$ e $REL_L =$ o autor utilizou exigências do NRC (1978); $CMS_2 = CCFDN/FDN$, onde $CCFDN = 0,011(PV)$ e $FDN = [(1-F)(FDN_{CONC}) + F(FDN_{FORR})]$; Equação para calcular teor máximo de FDN na dieta que irá atender exigências de determinada PL @ F = $[CCFDN(EL_{CONC}) - REL_L(FDN_{CONC})]/[CCFDN(EL_{CONC} - EL_{FOR}) + REL_L(FDN_{FORR} - FDN_{CONC})]$

→ **NRC (2001):** $CMS = [0,372(PLCG) + 0,0968(PV)^{0,75}] \times (1 - e^{-(0,192(SL + 3,67))})$

→ **PEYRAUD et al. (1996):** $CMO = -20,4 + 0,266(PLCG) + 0,95(PV) - 115(AREA) + 9,63(DISP_1) - 0,873(DISP_1)^2$ ($R^2 = 0,70$; DPE = 1,56 kg de MO/dia); $CMO = -8,9 + 0,263(PLCG) + 0,95(PV) - 98(CAB_1)^{-1} + 0,91(ALT) - 0,013(ALT)^2$ ($R^2 = 0,70$; DPE = 1,63 kg de MO/dia); $CMO = -40,3 + 0,265(PLCG) + 0,95(PV) - 114(AREA) + 9,43(DISP_1) - 0,820(DISP_1)^2 + 25(DPC)$ ($R^2 = 0,72$; DPE = 1,52 kg de MO/dia); n = 95 obs. de 25 vacas Holandesas em lactação em pastagens temperadas

→ **RAYBURN; FOX (1993):** Se $DEL < 84$, então $CMS = 0,0117(PV) + 0,074(DEL) + 0,281(PLCG)$ ($R^2 = 0,99$; CV = 10%; DPE = 1,79 kg/dia; n = 40 vacas); Se $DEL < 84$, então $CMS (\%PV) = 1,43 + 0,0120(DEL) + 0,0405(PLCG)$ ($R^2 = 0,60$; CV = 9%; DPE = 0,294 kg/%PV/dia; n = 40 vacas); Se $DEL >$

70, então **CMS** = 0,023(PV) + 0,0201(DEL) + 0,286(PLCG) - 0,0979(FDN) ($R^2 = 0,99$; CV = 8%; DPE = 1,66 kg/dia; n = 38 vacas); Se DEL > 70, então **CMS** (%PV) = 2,33 + 0,00301(DEL) + 0,0431(PLCG) - 0,0137(FDN) ($R^2 = 0,54$; CV = 8%; DPE = 0,275 kg/%PV/dia; n = 38 vacas) (Diversas fontes de dados; vacas Holandesas, PLCG = 26,8 kg/dia; CMS = 19,6 kg/dia; PV = 598 kg; DEL = 96, em média). **CMS** = -0,293 + 0,372(PLCG) + 0,0968(PV)^{0,75} (Equação obtida de dados do NRC, 1989)

→ **ROOK et al. (1991)**: Se SL=3-20 @ **CMSS** = -3,74 - 0,387(CC₃) + 1,486(PG + PPL) + 0,00659(PV) + 0,0136(DMOS) ($R^2 = 0,45$; Se SL=3-9 @ **CMSS** = -4,28 - 0,463(CC₃) + 1,439(PG + PPL) + 0,00592(PVP) + 0,0104(MPVP) - 0,000163(MPVP)² - 0,00487(N-NH₃) + 0,01173(DMOS) + 0,772(SL) - 0,036(SL)² ($R^2 = 0,63$); Se SL=10-20 @ **CMSS** = -57,7 - 0,482(CC₃) + 3,092(PG + PPL) + 0,00585(PVP) + 0,01125(MPVP) - 0,000035(MPVP)² + 0,1837(DMOS) - 0,000136(DMOS)² ($R^2 = 0,58$) (Dados de 4 locais, 14 silagens de azevém perene, 251 lactações de 211 vacas Holandesas)

→ **ROSELER et al. (1997a)**: **CMS** = [3,7 + 0,012(PV) + 0,12(MPV₂) + 12,2(PPL) - 0,011(DG)] x LAG ($R^2 = 0,84$; DPE = 1,56 kg/dia; equação completa, primíparas); **CMS** = [4,6 + 0,011(PVP) + 12,4(PPL)] x LAG ($R^2 = 0,79$; DPE = 1,57 kg/dia; equação simples, primíparas); **CMS** = [0,6 + 0,005(PV) + 0,11(MPV₂) + 10,4(PPL) - 0,013(DG) - 0,17(SL) + 4,59(logSL)] ($R^2 = 0,85$; DPE = 1,59 kg/dia; equação completa, múltiparas); **CMS** = [8,4 + 0,006(PVP) + 12,2(PPL)] x LAG ($R^2 = 0,84$; DPE = 1,66 kg/dia; equação simples, múltiparas); n = 11755 obs. de 241 vacas Holandesas, *free e tie-stalls*)

→ **RUIZ; MENCHACA (1990)**: **CFB** = 3,8325(DEL)^{0,6367} · e^{-0,004237(DEL)} ($R^2 = 0,91$; DPE = 0,056 g/kg^{0,75}/dia; vacas Holandesas; n = 200 vacas confinadas, recebendo forragens + 104 em pastagens tropicais)

→ **STOCKDALE (1985)**: **CMSF** = -6,99 + 0,270(CAB₂) - 0,0018(CAB₂)² + 1,108(DISP₂) + 6,2(DIGF) - 0,633(TP) + 0,011(PV) - 1,46(DE) ($R^2 = 0,89$; DPE = 1,30 kg/dia; CV = 13,4%); **CMSF** = -10,13 + 2,780(RES) + 9,0(DIGF) - 0,882(TP) + 0,024(PV) - 1,66(DE) ($R^2 = 0,78$; DPE = 1,83 kg/dia; CV = 18,9%); (n = 223 obs. de vacas *Jersey* e Holandesas em pastagens temperadas irrigadas)

→ **TERADA et al. (1997)**: **CMS** = 0,0128(PV) + 0,343(PLCG) + 0,083(F) - 0,372(PB) + 0,229(T) + 0,088(UR) - 7,00 ($R^2 = 0,68$; DPE = 1,56 kg/dia; n = 134 exp. no verão; temperatura mínima > 20 °C)

→ **VADIVELLO; HOLMES (1979)**: **CMSF** = -4,140 + 0,430(CC₃) + 0,015(PV) - 0,095(SL) +

4,0401(logSL) + 0,208(PL) ($R^2 = 0,719$; DPE = 1,688 kg/dia); **CMSF** = 0,076 + 0,404(CC₃) + 0,013(PV) - 0,129(SL) + 4,120(logSL) + 0,140(PL) ($R^2 = 0,73$; DPE = 1,659 kg/dia; n = 385 vacas Holandesas e *Ayrshire*, recebendo silagens e/ou feno + concentrados).

→ **VAZQUEZ; SMITH (2000)**: **CMS** = 2,65 + 0,17(PLCG) + 0,025(PV) + 2,25(MPV₃) - 0,003(CAB₂) + 0,024(CAB₂ x SUP) - 0,04(SUP) - 0,026(FDN_{SEL}) - 0,026(LEG) ($R^2 = 0,93$; DPE = 1,02 kg/dia; CV = 7,6%; n = 90 obs.); **CMS** = 4,47 + 0,14(PLCG) + 0,024(PV) + 2,00(MPV₃) + 0,04(CAB₂) + 0,022(CAB₂ x SUP) - 0,10(SUP) - 0,13(FDN_{PAS}) - 0,037(LEG) (=NS; $R^2 = 0,95$; DPE = 0,90 kg/dia; CV = 6,7%; n = 90 obs.); **CMSF** = 4,47 + 0,14(PLCG) + 0,024(PV) + 2,00(MPV₃) + 0,04(CAB₂) + 0,022(CAB₂ x SUP) - 0,90(SUP) - 0,13(FDN_{PAS}) - 0,037(LEG) ($R^2 = 0,91$; DPE = 0,90 kg/dia; CV = 8,3%; n = 90 obs.); **CMSF** = 6,14 + 0,06(PLCG) + 0,02(PV) + 0,075(CAB₂) + 0,018(CAB₂ x SUP) - 0,84(SUP) - 0,11(FDN_{PAS}) + 0,009(LEG) ($R^2 = 0,78$; DPE = 1,33 kg/dia; CV = 11,9%; n = 132 obs.) (Dados de 27 trabalhos com vacas Holandesas, em pastagens temperadas)

→ **YUNGBLUT et al (1981)**: **CMS** = 8,9188 + 0,6851(OP) - 0,0175(DEL) + 0,0751(PL) - 0,3456(GL) + 0,3643(PLCG) - 0,0667(MSD) - 0,2133(FDA) - 0,0863(ACE) + 0,0039(PV^{0,73}, kg) + 2,6780(MPV₃) + 0,1726(PER) ($R^2 = 0,84$); **CMS** = 3,3676 + 0,3395(OP) + 0,3362(PL) + 0,5282(GL) - 0,1061(FDA) + 0,0096(PV) ($R^2 = 0,78$) (n = 100 obs. de 45 vacas confinadas, recebendo *TMRs* com silagens e concentrados); **CMS** = -1,3297 + 0,3468(OP) + 0,239(DEL) + 0,4001(PL) + 0,7691(GL) + 0,0801(MSD) + 0,2482(FDA) - 0,1219(ACE) + 0,0556(PV^{0,73}, kg) + 2,0005(MPV₃) - 0,0940(PER) ($R^2 = 0,84$); **CMS** = -5,5231 + 0,3155(OP) + 0,4209(PL) + 0,7836(GL) + 0,3786(FDA) + 0,0013(PV) ($R^2 = 0,77$) (n = 79 obs. de 34 vacas confinadas, recebendo silagens e concentrados, separadamente).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC. Technical Committee on Responses to Nutrients. Report Number 8. Voluntary Intake of Cattle. **Nut. Abst. & Rev., Series B**, v. 61, n. 11, p. 816-823, 1991.

BRIGSTOCKE, T.D.A.; LINDEMAN, M.A.; CUTHBERT, N.H. et al. A note on the dry-matter intake of Jersey cows. **Anim. Prod.**, Bletchley, v. 35, n. 2, p. 285-287, 1982.

BROWN, C.A.; CHANDLER, P.T.; HOLTER, J.B. Development of predictive equations for milk yield and dry matter intake in lactating cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 60, n. 11, p. 1739-1754, 1977.

CAIRD, L.; HOLMES, W. The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows. **J. Agri. Sci.**, Cambridge, v. 107, n. 1, p. 43-54, 1986.

CONRAD, H.R.; PRATT, A.D.; HIBBS, J.W. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 47, n. 1, p. 54-62, 1964.

COPPOCK, C.E.; NOLLER, C.H.; WOLFE, S.A. Effect of forage-concentrate ratio in complete feeds fed ad libitum on energy intake in relation to requirements by dairy cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 57, n. 11, p. 1371-1380, 1974.

CURRAN, M.K.; HOLMES, W. Prediction of voluntary intake of food by dairy cows. 2. Lactating grazing cows. **Anim. Prod.**, Bletchley, v. 12, p. 213-224, 1970.

CURRAN, M.K.; WINBLE, R.H.; HOLMES, W. Prediction of the voluntary intake of food by dairy cows. 1. Stall-fed cows in late pregnancy and early lactation. **Anim. Prod.**, Bletchley, v. 12, n. 2, p. 195-212, 1970.

FORBES, J.M. Development of a model of voluntary food intake and energy balance in lactating cows. **Anim. Prod.**, Bletchley, v. 24, n. 2, p. 203-214, 1977.

FORBES, J.M. Prediction of voluntary intake. In: FORBES, J.M. **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. Wallingford: CAB International, 1995. Cap. 17. p. 384-415.

FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J. D. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **J. Anim. Sci.**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3578-3596, 1992.

FOX, D.G.; TYLUTIK, T.P.; VAN AMBURGH, M.E. et al. **The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. CNCPS version 4.0. Ithaca: Cornell University, 2000. 236 p. (Cornell University. Animal Science Dept. Mimeo 213).

FUENTES-PILA, J.; DE LORENZO, M. A.; BEEDE, D. K. et al. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 79, n. 9, p. 1562-1571, 1996.

HOLTER, J. B.; WEST, J. W.; MCGILLIARD, M. L. et al. Predicting ad libitum dry matter intake and yields of Jersey cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 79, n. 5, p. 912-921, 1996.

HOLTER, J. B.; WEST, J. W.; MCGILLIARD, M. L. Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 80, n. 9, p. 2188-2199, 1997.

HUHTANEN, P.; KHALILI, H.; NOUSIAINEN, J.I. et al. Prediction of the relative intake potential of grass silage by dairy cows. **Liv. Prod. Sci.**, Amsterdam, v. 73, n. 2/3, p. 111-130, 2002.

INGVARTSEN, K.L. Models of voluntary food intake in cattle. **Livest. Prod. Sci.**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 19-38, 1994.

KABUGA, J.D. Accuracy of some published feed intake prediction equations for dairy cows in Ghana. **Trop. Agric. (Trinidad)**, v. 69, n. 1, p. 58-62, 1992.

KERTZ, A.F.; REUTZEL, L.F.; THOMSON, G.M. Dry matter intake from parturition to midlactation. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 74, n. 7, p. 2290-2295, 1991.

LOPES, F.C.F. **Taxa de passagem, digestibilidade *in situ*, consumo, composição química e disponibilidade de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schumack) pastejado por vacas mestiças Holandês x Zebu em lactação**. 2002. 223 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária, UFMG, Belo Horizonte, 2002.

MADSEN, J.; STENSIG, T.; WEISBJERG, M.R. et al. Estimation of the physical fill of feedstuffs in the rumen by the in sacco degradation characteristics. **Livest. Prod. Sci.**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 43-47, 1994.

MEIJS, J.A.C.; HOEKSTRA, J.A. Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. **Grass For. Sci.**, v. 39, n. 1, p. 59-66, 1984.

MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility

using mathematical models of ruminal function. **J. Anim. Sci.**, Champaign, v. 64, n. 5, p. 1548-1558, 1987.

NEAL, H.D.S.C.; THOMAS, C.; COBBY, J.M. Comparison of equations for predicting voluntary intake by dairy cows. **J. Agri. Sci.**, Cambridge, v. 103, n. 1, p. 1-10, 1984.

NRC – National Research Council. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington: Natl. Acad. Sc., 2001. 408 p.

PEYRAUD, J.L.; COMERON, E.A.; WADE, M.H. et al. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing cows. **Ann. Zootech.**, v. 45, n. 3, p. 201-217, 1996.

RAYBURN, E.B.; FOX, D.G. Variation in neutral detergent fiber intake of Holstein cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 76, n. 2, p. 544-554, 1993.

ROOK, A.J.; GILL, M.; WILLINK, R.D. et al. Prediction of voluntary intake of grass silages by lactating cows offered concentrates at a flat rate. **Anim. Prod.**, v. 52, n. 3, p. 407-420, 1991.

ROSELER, D.K.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. et al. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating holstein dairy cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 80, n. 5, p. 878-893, 1997a.

ROSELER, D.K.; FOX, D.G.; PELL, A.N. et al. Evaluation of alternative equations for prediction of

intake for Holstein dairy cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 80, n. 5, p. 864-877, 1997b.

RUIZ, R.; MENCHACA, M.A. Mathematical model for voluntary consumption of ruminants. 2. Principles and method for estimating the potential consumption of dry matter in tropical pastures and forages. **Cuban J. Agric. Sci.**, v. 24, n. 1, p. 53-62, 1990.

STENSIG, T.; WEISBJERG, M.R.; MADSEN, J. et al. Estimation of voluntary feed intake from in sacco degradation and rate of passage of DM or NDF. **Liv. Prod. Sci.**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 49-52, 1994.

STOCKDALE, C.R. Influence of some sward characteristics on the consumption of irrigated pastures grazed by lactating dairy cattle. **Grass For. Sci.**, v. 40, n. 1, p. 31-39, 1985.

TERADA, F.; SHIOYA, S.; SHIRAIISH et al. Prediction of dry matter of lactating cows in summer. **Anim. Sci. Technol. (Jpn.)**, v.68, n.2, p.189-191, 1997.

VADIVELOO, J.; HOLMES, W. The prediction of voluntary intake of dairy cows. **J. Agri. Sci.**, Cambridge, v. 93, n. 3, p. 553-562, 1979.

VAZQUEZ, O.P.; SMITH, T.R. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign, v. 83, n. 10, p. 2301-2309, 2000.

YUNGBLUT, D.H.; STONE, J.B.; MACLEOD, G.K. et al. The development of feed intake prediction equations for lactating dairy cows. **Can J. Anim. Sci.**, Ottawa, v. 61, n. 1, p. 151-157, 1981.