

Metabolismo de proteínas

9

capítulo

Introdução

Caracterização e funções das proteínas

Degradação ruminal de proteína

Síntese de proteína microbiana (Pmic)

Digestão e absorção intestinal

Metabolismo de AA pelos tecidos

Sistemas proteicos para ruminantes

Caracterização das fontes proteicas

Nutrição proteica e desempenho animal

Balanceamento de aminoácidos

Literatura consultada

Introdução

Os conceitos sobre nutrição proteica de ruminantes têm evoluído de forma considerável nas últimas duas décadas. Até o final da década de 70, as estimativas das exigências proteicas eram obtidas a partir de ensaios de desempenho e digestibilidade. O desenvolvimento e aprimoramento dos ensaios de metabolismo, a partir da década de 80, possibilitaram o desenvolvimento do método fatorial de exigências utilizado até o momento pelos principais sistemas proteicos disponíveis. O método fatorial consiste em dividir a exigência proteica do animal em exigências de manutenção e de produção. As exigências de manutenção consistem do nitrogênio (N) endógeno urinário, N de descamação (pele e pelos) e N metabólico fecal. As exigências de produção consistem do N necessário para o feto, crescimento e lactação.

Os sistemas evoluíram das determinações de exigências em proteína bruta para os atuais modelos de proteína metabolizável, que permitem adequar as exigências da população microbiana ruminal em compostos nitrogenados, assim como as

exigências do ruminante em proteína metabolizável. Os sistemas de proteína metabolizável têm estimulado e permitido avanços no conhecimento das exigências em aminoácidos dos ruminantes e o balanceamento do perfil de aminoácidos essenciais da proteína metabolizável. Esses avanços têm possibilitado ganhos de produtividade animal por meio da otimização da síntese de proteína microbiana no rúmen, adequação das doses de proteína não-degradável no rúmen, adequação da quantidade e qualidade da proteína metabolizável suprida para o animal, redução nas perdas de compostos nitrogenados e redução do impacto negativo da liberação desses compostos para o ambiente.

Caracterização e funções das proteínas

Proteínas são macromoléculas presentes nas células com funções diversas como componentes estruturais, funções enzimáticas, funções hormonais, recepção de estímulos hormonais e armazenamento de informações genéticas. As proteínas são compostas de unidades formadoras, os aminoácidos (AA), unidos por ligações peptídicas. Estas são chamadas proteínas simples. Também ocorrem no organismo as chamadas proteínas complexas, ou seja, que contêm, além dos AA, outros compostos como grupo heme (heme proteínas), lipídios (lipoproteínas) e açúcares (glicoproteínas).

Apesar de ocorrerem na natureza aproximadamente 300 AA distintos, apenas 20 deles estão presentes nas proteínas de microrganismos, plantas e animais. A hidrólise de qualquer proteína natural dos seres vivos produz uma mistura dos 20 L- α -AA. Todos esses AA contêm um grupo carboxílico (COOH) e um grupo amino (NH_3^+) funcionais ligados ao carbono e possuem as configurações absolutas do L-gliceraldeído e, portanto, são L- α -AA.

A fórmula estrutural de todos os 20 L- α -AA é apresentada na **Figura 1**. A letra R representa o radical que diferencia cada um desses AA.

Os 20 L- α -AA presentes nas proteínas dos seres vivos podem ser classificados de várias formas, entretanto, do ponto de vista da nutrição de animais ruminantes e não ruminantes, eles são

classificados principalmente como aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não essenciais (AANE). Os AAE não são sintetizados pelo organismo do animal, ou são sintetizados (Arg e His) em quantidades insuficientes para suprir as exigências. Dos 20 L- α -AA, 10 são considerados AAE tanto para ruminantes como para não ruminantes: arginina (Arg), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lis), metionina (Met), fenilalanina (Phe), treonina (Thr), triptofano (Trp) e valina (Val). Os AANE são aqueles que podem ser sintetizados pelo tecido animal a partir de metabólitos do metabolismo intermediário e de grupos amino provenientes do excesso de AA. Podem ser sintetizados a partir de outros AANE ou mesmo de AAE, quando necessário. São eles: alanina, ácido aspártico, asparagina, cisteína, ácido glutâmico, glutamina, glicina, prolina, serina e tirosina.

Os 20 L- α -AA são requeridos pelo organismo principalmente para a síntese de proteínas, mas podem também ser utilizados para a síntese de outros metabólitos. Com base nos metabólitos produzidos, os AA podem ser classificados em:

- glicogênicos (Ala, Arg, Asp, Cis, Glu, Gli, His, Met, Pro, Ser, Thr e Val), importantes precursores para a síntese de glicose, através da gliconeogênese hepática em ruminantes;
- cetogênicos (Leu), precursores para a síntese de ácidos graxos;
- glicogênicos e cetogênicos (Ile, Lis, Phe, Trp e Tir), precursores tanto de glicose como de ácidos graxos.

O ciclo de Krebs ou do ácido cítrico, é o ponto comum para o catabolismo dos L- α -AA. Leucina é o único AA não glicogênico, uma vez que sua via de entrada no ciclo de Krebs é unicamente através do metabólito acetil-CoA. Os dois átomos de carbono que entram no ciclo são perdidos no processo de descarboxilação até a formação de α -cetoglutárico, o que impede a síntese líquida de glicose por essa via. Além da

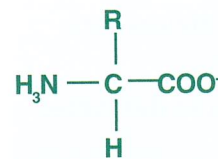


Figura 1 – Fórmula estrutural de todos os 20 L- α -AA.

síntese de glicose e ácidos graxos, os AA também podem ser oxidados a CO_2 e água para a produção de energia. Quando os AA não são utilizados para a síntese de proteínas ou de outros AA, o seu grupamento amino (NH_3^+) é convertido a ureia (ciclo da ureia) e excretado.

O teor de AAE e a proporção entre esses AA na proteína metabolizável no intestino determinam a eficiência de utilização dessa proteína pelo ruminante. Quando a proteína metabolizável é de alta qualidade (rica e com perfil adequado em AAE), o teor de proteína bruta da ração pode ser reduzido, a eficiência de utilização da proteína metabolizável é otimizada, a excreção de ureia e de outros compostos nitrogenados é reduzida e o desempenho animal é maximizado.

As proteínas presentes nos seres vivos podem ser classificadas com base em diferentes critérios:

- a. solubilidade;
- b. estrutura tridimensional;
- c. função;
- d. propriedades físicas;
- e. formato geral.

A classificação por solubilidade, desenvolvida em 1907-1908, ainda é utilizada, porém de forma limitada. Algumas proteínas, como albuminas e globulinas, não podem ser claramente diferenciadas apenas com base em suas solubilidades em água ou soluções salinas. Em ordem decrescente de solubilidade podem se citar:

- a. albuminas, solúveis em água e soluções salinas;
- b. globulinas, pouco solúveis em água, mas solúveis em soluções salinas;
- c. prolaminas, solúveis em solução 70-80% etanol;
- d. histonas, solúveis em soluções salinas.

Quanto ao formato geral, as proteínas podem ser classificadas como:

- a. **globulares:** insulina, albuminas plasmáticas, globulinas e diversas enzimas;
- b. **fibrosas:** elastina, queratina, miosina, colágeno e fibrina.

As proteínas fibrosas são insolúveis em água, soluções salinas e resistentes a enzimas digestivas.

A proteína bruta (PB) contida nos alimentos consumidos por ruminantes, calculada como $\text{N} \times$

6,25 (assume teor de N na proteína de 16%), contém N na forma proteica (AA unidos por meio de ligações peptídicas que formam uma molécula de proteína) e N na forma não-proteica (NNP), representado por AA livres, peptídeos, ácidos nucleicos, amidas, aminas e amônia. A proteína bruta das gramíneas e leguminosas forrageiras contém uma porcentagem considerável de NNP. Esse valor aumenta substancialmente quando essas forrageiras são conservadas na forma de feno ou silagem por causa da proteólise durante a secagem e ensilagem. Os teores de NNP, em geral, variam de 10 a 30% no material fresco, de 25 a 30% no material fenado e de 30 a 65% no material ensilado. Nas forragens frescas, o NNP é representado principalmente por peptídeos, AA livres e nitratos. Nas forragens ensiladas, há uma predominância de AA livres, amônia e aminas e menores concentrações de peptídeos e nitratos. Nos alimentos concentrados, os teores de NNP na PB são normalmente inferiores a 12%.

Degradação ruminal de proteína

Ação microbiana

O metabolismo de nitrogênio em ruminantes é apresentado de forma esquemática na **Figura 2**.

A proteína bruta contida nos alimentos dos ruminantes é composta por uma fração degradável no rúmen (PDR) e uma fração não-degradável no rúmen (PNDR). A degradação de proteína no rúmen ocorre pela ação de enzimas (proteases, peptidases e deaminases) secretadas pelos microrganismos ruminantes. Esses microrganismos degradam a fração PDR da PB da ração e utilizam peptídeos, AA e amônia, para a síntese de proteína microbiana e multiplicação celular. Quando a velocidade de degradação ruminal da proteína excede a velocidade de utilização dos compostos nitrogenados para a síntese microbiana, o excesso de amônia produzida no rúmen atravessa a parede ruminal e pode ser perdida via urina na forma de ureia. Peptídeos e AA provenientes da degradação ruminal da proteína não incorporados nas células microbianas podem passar para o duodeno e serem absorvidos pelo ruminante.

As bactérias são o grupo de microrganismos ruminantes mais abundantes e as principais

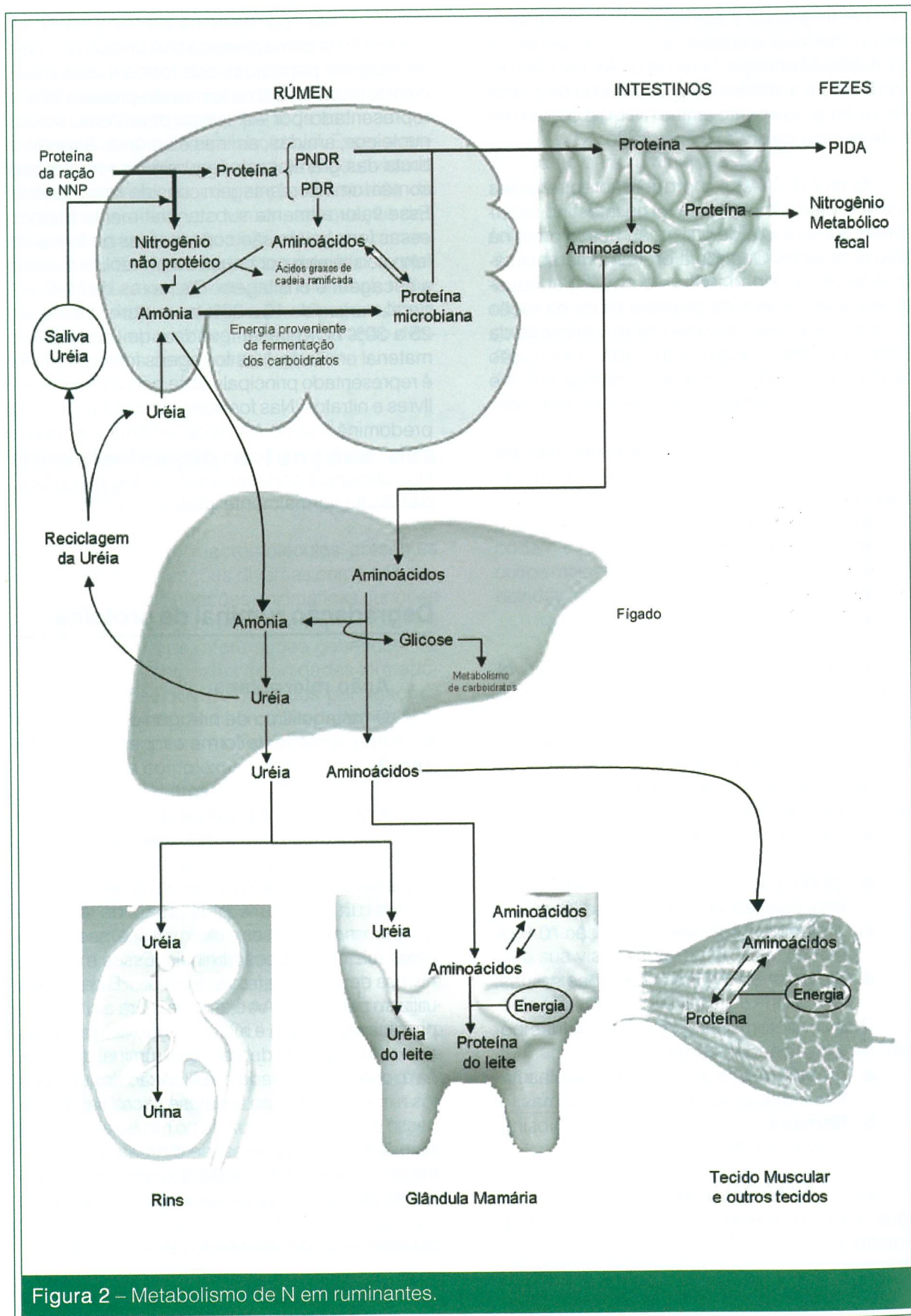


Figura 2 – Metabolismo de N em ruminantes.

responsáveis pela degradação de proteína. A maior parte da atividade das proteases bacterianas ocorre associada à superfície da parede celular, e apenas 10% ou menos dessa atividade ocorre livre da célula. O primeiro passo para a degradação da proteína no rúmen é sua adsorção pela bactéria. Tanto a fração solúvel como a não solúvel da PDR são passíveis de serem adsorvidas pelas bactérias e sofrerem a ação das suas proteases. Os oligopeptídeos originados são então degradados por oligopeptidases a pequenos peptídeos e AA livres. Esses compostos são transportados para o interior das células bacterianas onde sofrem os seguintes processos:

- a. degradação dos pequenos peptídeos a AA livres;
- b. incorporação dos AA livres na proteína microbiana;
- c. deaminação dos AA livres a amônia e esqueletos carbônicos;
- d. utilização da amônia para a síntese de AA;
- e. difusão da amônia não utilizada para fora da célula.

Apesar de menos numerosos, os protozoários representam uma porção significativa da massa microbiana ruminal e são ativos na degradação de proteína. O mecanismo de ação dos protozoários na degradação de proteína difere das bactérias. Esses, ao invés de formarem um complexo com a proteína, ingerem principalmente bactérias, mas também fungos e partículas pequenas de alimentos que são digeridos no interior da célula. A digestão da proteína libera peptídeos e estes são degradados a AA livres que são então incorporados na proteína dos protozoários. Apesar de também deaminarem AA, os protozoários não são capazes de utilizar a amônia para a síntese de novos AA. Em virtude da pequena taxa de passagem desses microrganismos, eles contribuem pouco para o fluxo de proteína microbiana para o intestino. Apesar de secretarem peptídeos, AA e amônia no fluido ruminal, uma parte significativa desses compostos é disponibilizada no rúmen com a autólise celular ou morte desses microrganismos.

Em razão da sua população pequena no rúmen, a contribuição dos fungos para a degradação de proteínas é considerada insignificante.

Fatores que afetam a degradação de proteína no rúmen

Diversos fatores afetam a extensão da degradação da PB no rúmen, tais como a composição química e física da PB (relação entre NNP e proteína verdadeira, a estrutura tridimensional da molécula de proteína, a presença de ligações de dissulfeto), a atividade proteolítica microbiana, o acesso microbiano à proteína, o tempo de retenção do alimento no rúmen, o pH ruminal, o processamento do alimento e a temperatura ambiente.

Tanto a composição química como a física da proteína são fatores com grande impacto na sua degradabilidade. As proporções de NNP e de proteína verdadeira afetam de forma significativa esse parâmetro. O NNP é degradado rapidamente (>300%/h) e assume-se que essa fração é 100% degradada no rúmen. Entretanto essa degradação total no rúmen nem sempre ocorre, em decorrência dos efeitos da taxa de passagem. Uma porção pequena do NNP pode passar para o duodeno sem ter sido degradada no rúmen. A estrutura tridimensional da proteína e a presença de ligações de dissulfeto também afetam a degradação de proteína. Por causa da sua estrutura cíclica, sem um grupamento amino ou carboxílico terminal, ovoalbumina é lentamente degradada no rúmen. A presença de ligações de dissulfeto e complexos de proteína com carboidratos dificultam o acesso microbiano à molécula de proteína e tornam a proteína mais resistente à degradação ruminal. Albuminas e imunoglobulinas assim como proteínas dos cabelos e penas são ricas em ligações de dissulfeto e são mais resistentes à degradação ruminal.

A forma de armazenamento dos alimentos também pode ter grande efeito na degradabilidade da proteína. A ensilagem de forragens e grãos de cereais aumenta a degradabilidade da PB, em razão da proteólise no silo pela ação de microrganismos. Dessa maneira, grande parte da proteína verdadeira do alimento é convertida em NNP. Por outro lado, materiais ensilados sem a compactação adequada podem sofrer superaquecimento e terem parte considerável da PB ligada à fração FDA, tornando-se indisponível tanto no rúmen como no intestino.

O processamento de grãos ou de seus subprodutos com altas temperaturas (tostagem, pelletização, extrusão, floculação etc.), normalmente

te diminui a degradabilidade da PB, por causa da formação de complexos entre a proteína e carboidratos (reação de Maillard), e por causa do aumento da presença de pontes de dissulfeto. Essa técnica tem sido usada pela indústria de alimentação animal com o objetivo de diminuir a degradabilidade ruminal da proteína e de reduzir as perdas ruminais na forma de amônia. Temperatura adequada e tempo de exposição correto são fundamentais para aumentar o teor de PNDR sem prejudicar sua digestibilidade no intestino. Quando a temperatura e o tempo de tratamento são excessivos, parte considerável da PB pode ligar-se à fração FDA e ficar indisponível para degradação ruminal e intestinal. A proteína do farelo de soja, do farelo de algodão e da farinha de peixes, tem maior teor de PNDR que a proteína original, em virtude do tratamento com temperatura elevada durante a tostagem (farelo de soja e algodão) ou secagem (farinha de peixes) dos materiais. Fatores de âmbito ruminal, como taxa de passagem e pH também afetam a degradabilidade da PB. O aumento da taxa de passagem, causado por aumento no consumo de matéria seca ou pelo processamento do alimento, diminui o tempo de retenção do alimento no rúmen e assim pode aumentar seu teor de PNDR. O pH ruminal pode alterar a solubilidade da PB assim como afetar a digestão ruminal da fibra e interferir com o acesso microbiano à molécula de proteína.

Solubilidade da proteína no rúmen

Apesar das frações solúveis da proteína serem atacadas mais rapidamente e serem mais digeridas pelos microrganismos ruminais que as frações insolúveis, estar na forma solúvel não é condição obrigatória para que a proteína seja degradada no rúmen. Outros fatores além da solubilidade, como estrutura, composição química e ligações de dissulfeto, também afetam a degradabilidade da proteína. A correlação entre solubilidade e degradabilidade ruminal da proteína é baixa, quando se comparam alimentos de classes diferentes, o que significa que, nesse caso, a solubilidade não é um bom indicador da degradabilidade da proteína. Isso ocorre porque frações solúveis de proteínas diferentes têm taxas diferentes de degradação. Caseína é solúvel e tem alta taxa de degradação, enquanto albuminas séricas e albumina do ovo também são solúveis, porém com taxas de degradação muito baixas. Entretanto, a correlação entre solubili-

de e degradabilidade é alta quando se comparam alimentos de uma mesma classe, por exemplo, duas partidas distintas de farelo de soja, utilizando-se um solvente comum para ambas as partidas. Quanto maior o teor de NNP na proteína bruta do alimento, maior a correlação entre solubilidade e degradabilidade.

Há grande dificuldade para se determinar comercialmente a degradabilidade ruminal da proteína de cada partida de alimento adquirido pela indústria ou pelo produtor rural. Por esse motivo, os laboratórios têm utilizado valores de solubilidade de proteína como uma tentativa de ranquear alimentos de um mesmo tipo quanto à degradabilidade da proteína, auxiliando no balanceamento das rações. Atualmente, a metodologia mais utilizada para determinação da solubilidade da proteína é a incubação com solução tampão de borato-fosfato, preconizada pelo modelo de Cornell -CNCPS (*Cornell Net Carbohydrate and Protein System*).

Cinética da degradação de proteína

A proteína bruta contida nos alimentos dos ruminantes é composta por uma fração degradável no rúmen (PDR) e uma fração não-degradável no rúmen (PNDR). A fração degradável dá origem a peptídeos, AA e amônia, e é utilizada pelos microrganismos ruminais para a síntese de proteína microbiana.

A proteína microbiana é normalmente a principal fonte de proteína metabolizável para ruminantes. A proteína não-degradável no rúmen é a segunda fonte seguida da proteína endógena. A precisão dos atuais sistemas proteicos, baseados nas exigências em proteína metabolizável, é altamente dependente de informações precisas quanto às frações degradáveis e não-degradáveis dos alimentos. O suprimento de quantidades adequadas de PDR e PNDR é fundamental para otimizar a produção de proteína microbiana e complementá-la adequadamente com PNDR e, assim, suprir as exigências em proteína metabolizável dos animais.

A degradação ruminal de proteína pode ser obtida por meio de métodos *in vivo*, enzimáticos, *in vitro* e *in situ*. Em virtude das dificuldades e custos com a determinação *in vivo*, os outros métodos têm sido utilizados com maior frequência. Os modelos que descrevem a degradação ruminal de proteína normalmente assumem

que as reações em questão são reações de primeira ordem, que a PB dos alimentos consiste de diversas frações com diferentes taxas de degradação e que o desaparecimento ruminal da proteína ocorre por meio dos processos de passagem e degradação.

O modelo mais usado no mundo todo adota dados de degradação ruminal *in situ* e divide a PB em 3 frações (A, B e C). Esse modelo é adotado pelo NRC de gado de corte (1996) nível 1 e de leite (2001). A fração A é representada pelo NNP e uma pequena porção de proteína verdadeira de alta solubilidade ou de tamanho pequeno de partículas que escapam dos sacos de náilon. A fração A é considerada 100% degradável no rúmen e obtida no tempo zero de incubação. A fração C é totalmente não-degradável no rúmen e passa para o intestino. Ela é obtida após 48 (alimentos concentrados) ou 72 horas de incubação (forragens) conforme recomendação do NRC (2001). A fração B é obtida por diferença (100 - (A + C)) e é a fração potencialmente degradável no rúmen, sendo a única fração afetada pela taxa de passagem dos alimentos. A quantidade da fração B degradada no rúmen depende da sua taxa de degradação e de passagem.

Após a determinação das frações A, B e C, das taxas de passagem (Kp) e de degradação (Kd) da fração B, é possível o cálculo das frações PDR e PNDR da PB dos alimentos. A fração PDR é calculada a partir da fórmula:

$$PDR = A + B Kd / (Kd + Kp)$$

A fração PNDR é calculada pela fórmula:

$$PNDR = B Kp / (Kd + Kp) + C$$

As taxas de passagem são calculadas com o uso de marcadores. Os marcadores mais utilizados têm sido as terras raras.

O modelo de Cornell (CNCPS) é um sistema dinâmico que adota um procedimento mais complexo para determinar a PDR e PNDR dos alimentos. Esse modelo utiliza reagentes químicos para determinar as frações proteicas que, nesse caso, são 5: A, B₁, B₂, B₃ e C. A fração A (NNP) é solúvel em solução tampão de borato-fosfato e não precipitada com ácido tricloroacético (TCA).

Assume-se que essa fração é solubilizada instantaneamente e sua taxa de degradação tende ao infinito. A fração C é a fração da PB ligada ao FDA e não é degradada no rúmen. Ela contém proteínas associadas com lignina, taninos e produtos da reação de Maillard. A fração B restante representa a fração potencialmente degradável e é dividida em 3 frações de acordo com suas taxas de degradação, sujeitas aos efeitos da taxa de passagem que é comum para essas 3 frações. A fração B₁ é a fração da PB solúvel em solução tampão borato-fosfato, mas que se precipita com TCA. A fração B₃ é calculada como a diferença entre a fração da PB recuperada no FDN e a recuperada no FDA (C). A fração B₂ é calculada como a diferença entre o total de PB e a soma das frações A, B₁, B₃ e C.

A fração A é 100% degradável no rúmen, a fração C não é degradável no rúmen e as taxas de degradação das frações B₁ (120 a 400%/h), B₂ (3 a 16%/h) e B₃ (0,06 a 0,55%/h) são determinadas após incubação *in vitro* com proteases.

A fração PDR da PB é calculada com a fórmula:

$$PDR = A + B_1 KdB_1 / (KdB_1 + Kp) + B_2 KdB_2 / (KdB_2 + Kp) + B_3 KdB_3 / (KdB_3 + Kp)$$

A fração PNDR é calculada com a fórmula:

$$PNDR = B_1 Kp / (KdB_1 + Kp) + B_2 Kp / (KdB_2 + Kp) + B_3 Kp / (KdB_3 + Kp) + C$$

Síntese hepática da ureia e reciclagem de N

A amônia presente no rúmen é originária da degradação da proteína verdadeira da ração, do NNP da ração, do N reciclado para o rúmen na forma de ureia e da degradação das células microbianas mortas no rúmen. O pico de amônia no rúmen após a alimentação depende das fontes de N presentes na ração. Quando ureia é fornecida, o pico de amônia ocorre normalmente 1 a 2 horas após a alimentação. Para fontes de proteína verdadeira, esse pico ocorre ao redor de 3 a 5 horas após a alimentação, dependendo da degradabilidade ruminal dessas fontes (**Figura 3**).

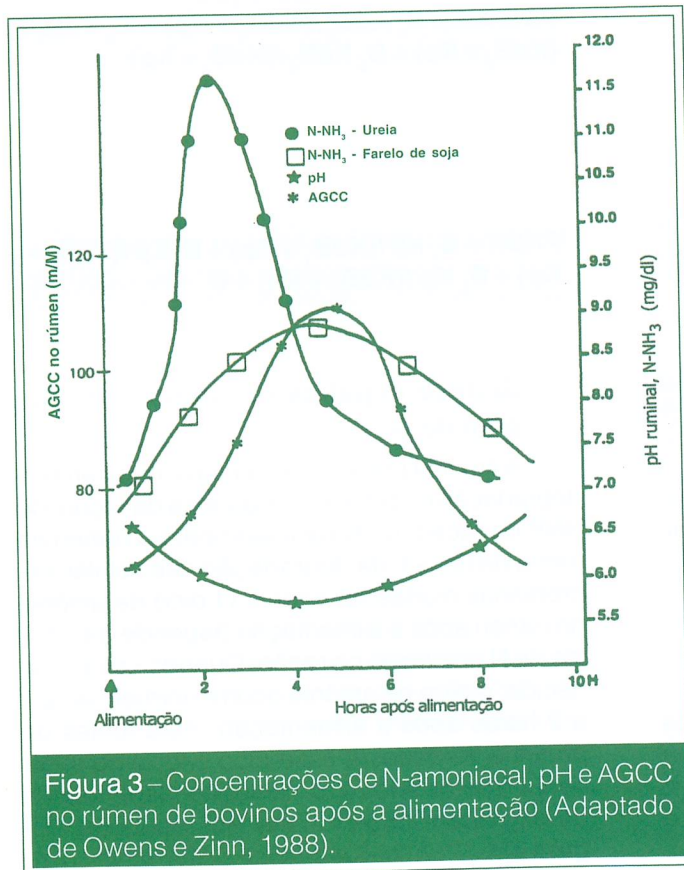
A eficiência da utilização da amônia pelos microrganismos para a síntese microbiana depende, entre outros fatores, principalmente da disponibilidade de energia no rúmen. A maior parte da amônia não utilizada para a síntese microbiana é absorvida através da parede ruminal por difusão e transportada para o fígado pela veia porta. A amônia é absorvida através da parede ruminal na sua forma não ionizada (NH_3). Na forma ionizada (NH_4^+), a amônia não é absorvida através da parede ruminal. Portanto a redução do pH ruminal favorece a ionização da amônia e reduz sua absorção, enquanto a elevação do pH ruminal favorece a presença de amônia na forma não ionizada e aumenta a absorção de amônia.

Quando em concentração alta no sangue, a amônia é tóxica para os ruminantes. Indicações clínicas de intoxicação incluem concentração ruminal de N amoniacal acima de 100 mg/dL, pH ruminal acima de 8 e concentração de amônia no plasma sanguíneo acima de 2 mg/dL. Nas condições normais de produção, a intoxicação por amônia somente é observada quando quantidade elevada de fontes de NNP, como a ureia, é ingerida pelo animal em curto espaço de tempo. No rúmen, a ureia sofre a ação da enzima urea-

se, secretada por bactérias que vivem aderidas à parede ruminal, resultando na produção de amônia. Para animais não adaptados, o consumo de 45 a 50 gramas de ureia para cada 100 kg de peso vivo, em curto período de tempo, pode ser fatal; entretanto animais adaptados toleram doses 2 a 3 vezes maiores no mesmo período de tempo. Animais alimentados com ração total podem consumir doses mais altas de ureia sem problemas de intoxicação do que animais que recebem o concentrado separado do volumoso. Isso se deve ao consumo mais gradativo da ureia e à melhor sincronização da liberação de energia e de N no rúmen. No Brasil, vacas leiteiras alimentadas com cana-de-açúcar, corrigida com 1% de ureia com base na matéria original, chegam a consumir 300 a 450 g/dia de ureia, sem sofrerem intoxicação.

De acordo com alguns trabalhos, os sintomas de tetania muscular ocasionados pela intoxicação por amônia podem ser observados ao redor de 50 minutos após a ingestão de dose tóxica de uréia. Em caso de intoxicação, recomenda-se o fornecimento oral de ácido acético (solução de 5 a 10%) o mais rápido possível após a detecção dos sintomas. Metade da dose inicial deve ser repetida 2 a 3 horas mais tarde. A queda no pH ruminal, causada por esse ácido favorece a formação de NH_4^+ e reduz, portanto, a velocidade de absorção ruminal de amônia total. Dessa forma, o fígado tem tempo de transformar essa amônia em ureia, e o animal consegue sobreviver.

Em razão do seu alto grau de toxicidade, a amônia é convertida no fígado em ureia (ciclo da ureia), um composto não tóxico. No fígado, 2 moléculas de amônia são convertidas em uma molécula de ureia. A primeira molécula de amônia é carboxilada pela enzima carbamoil fosfato sintetase, originando o composto carbamoil fosfato. Nessa reação, 2 moles de ATP são utilizados. O carbamoil fosfato reage com a ornitina para formar a citrulina. A segunda molécula de amônia que entra no ciclo é originada do aspartato que reage com a citrulina, formando arginino-succinato. Esse composto é clivado a arginina e fumarato. A arginina é então quebrada pela arginase, regenerando a ornitina e produzindo uma molécula de ureia. Rações com excesso de PDR resultam em excesso de amônia ruminal e requerem quantidade significativa de energia para síntese e excreção de ureia, uma



vez que para cada mole de ureia produzido são gastos 2 moles de ATP.

Parte da ureia produzida no fígado é excretada, via urina, e parte pode retornar para o rúmen via saliva ou corrente sanguínea (difusão através da parede ruminal). Esse processo é conhecido como reciclagem de N e é um processo contínuo, que permite que esse N seja reutilizado pelos microrganismos ruminais. Esse mecanismo de conservação do N é importante especialmente para a sobrevivência dos animais quando a ração é deficiente em N. A quantidade de ureia reciclada para o rúmen é maior quanto menor a concentração de amônia ruminal. No geral, a quantidade de N reciclado para o rúmen é equivalente a 10% a 15% do N ingerido pelo animal.

Síntese de proteína microbiana (Pmic)

Importância da proteína microbiana na nutrição de ruminantes

A proteína metabolizável (PM) no intestino de ruminantes é representada pelo total de AA provenientes da digestão intestinal da:

- a. proteína microbiana produzida no rúmen;
- b. da PNDR de origem alimentar;
- c. da proteína endógena.

A Pmic é normalmente a principal fonte de PM para ruminantes, na maioria das situações produtivas. Ela pode representar ao redor de 45 a 55% da PM no intestino de vacas leiteiras de alta produção, 55 a 65% em bovinos de corte confinados com rações ricas em energia e mais de 65% em bovinos mantidos exclusivamente em pastagens. Portanto todo e qualquer programa nutricional só terá sucesso se a produção de Pmic for otimizada. Manipulações da ração que resultem em redução na síntese microbiana, normalmente, comprometem o desempenho do animal. O desempenho pior pode ocorrer em razão da redução na fermentação ruminal, com efeitos negativos no consumo de alimento e, portanto, na disponibilidade de energia para o animal, como também pela redução na quantidade e/ou qualidade da PM disponível no intestino.

Apesar dos protozoários representarem porção significativa da massa microbiana rumi-

nal, têm baixa taxa de passagem. Sendo assim, mais de 90% da Pmic que passa para o duodeno é de origem bacteriana.

Valor nutricional da proteína microbiana

No tocante à nutrição proteica, a exigência metabólica do ruminante não é por PB, NNP, PDR ou PNDR, mas sim por AA. As células dos tecidos dos ruminantes necessitam de AA para seu metabolismo. Dados recentes têm mostrado que alguns tecidos também utilizam peptídeos em seu metabolismo. Os AA devem estar disponíveis para o metabolismo dos tecidos em quantidades e proporções adequadas para eficiência máxima. Sendo assim, o valor nutricional da PM para ruminantes depende, principalmente, do seu perfil em AAE.

A qualidade da proteína para ruminantes pode ser estimada com base no seu perfil em AAE. Um escore químico para cada AAE pode ser estabelecido para a proteína alimentar com base no teor dos AAE na proteína do alimento em relação ao teor desses AAE na proteína do leite (para vacas em lactação) ou no tecido muscular (para animais em crescimento ou terminação) por meio da fórmula:

$$\text{Escore do AAY} = \left(\frac{\% \text{ do AAY na proteína do alimento}}{\% \text{ do AAY na proteína do leite ou tecido}} \right) \times 100$$

O valor máximo para o escore é 100, mesmo quando a proteína do alimento contiver teor de determinado AAE maior que o da proteína do leite ou do tecido muscular. Um escore médio dos 10 AAE para cada fonte proteica pode então ser calculado, conforme apresentado na **Tabela 1**.

Outra maneira de avaliar a qualidade da proteína é calcular a relação entre o teor de determinado AAE em relação ao total de AAE da proteína alimentar e comparar essa relação com a da proteína do leite ou tecido muscular, conforme apresentado na **Tabela 2**.

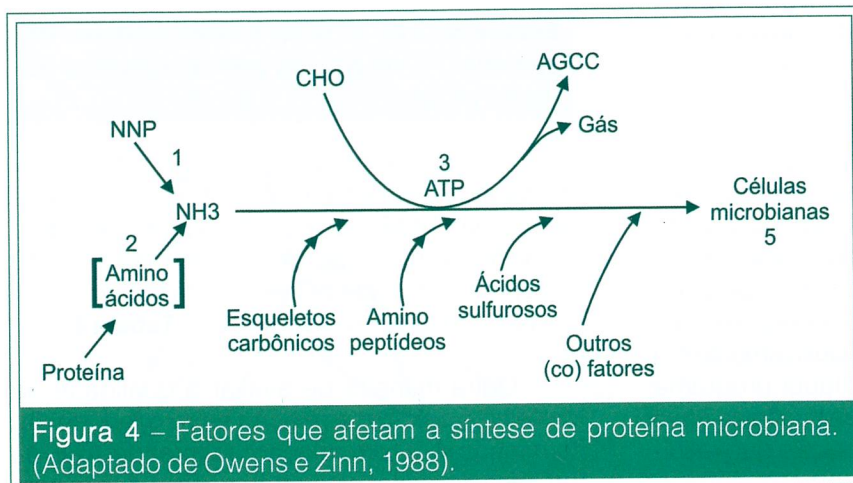
A análise dos dados das **Tabelas 1 e 2** mostra de forma clara a superioridade da proteína microbiana em relação às principais fontes proteicas disponíveis comercialmente para serem utilizadas em rações de ruminantes. A proteína microbiana é equilibrada na maioria dos AAE em relação à proteína do leite ou do tecido mus-

cular. Apesar da análise dos dados das Tabelas 1 e 2 indicar que os AAE mais limitantes na proteína microbiana são os de cadeia ramificada, leucina, valina e isoleucina, a grande maioria dos trabalhos tem mostrado que lisina e metionina são os dois AAE mais limitantes para a produção de leite e de carne na maioria das rações utilizadas para vacas de alta produção e bovinos em crescimento. A proteína microbiana tem um perfil excelente desses dois AAE, muito parecido com o da proteína do leite e do tecido muscular.

Com base no discutido acima, fica clara a importância de se otimizar a síntese de Pmic no rúmen, pois isso representa um uso eficiente da PDR, uma menor perda de amônia ruminal e menor excreção de ureia, menor necessidade de PNDR na ração e maior fluxo de proteína metabolizável com melhor perfil de AAE para o intestino.

Exigências nutricionais dos microrganismos ruminais

Na Figura 4, é apresentada de forma esquemática a integração entre os diversos fatores que limitam a síntese microbiana no rúmen, os quais serão discutidos detalhadamente a seguir.



Composição microbiana

A célula microbiana contém em sua composição principalmente proteínas, mas também carboidratos, lipídios, minerais e vitaminas. O modelo de Cornell (CNCPS) assume que apenas bactérias compõem a massa microbiana que passa para o intestino e que estas contêm 62,5% de PB, 21% de carboidratos, 12% de lipídios e 4,4%

de cinzas. O modelo também assume que a Pmic é composta por 60% de proteína verdadeira disponível, 25% de proteína da parede celular não disponível e 15% de ácidos nucleicos. O NRC gado de corte (1996) e gado de leite (2001) assumem que a Pmic contém 80% de proteína verdadeira e 20% de ácidos nucleicos.

De modo geral, os sistemas proteicos adotados na maioria dos países, assumem composições constantes para a célula microbiana e para a proteína microbiana produzidas no rúmen. Entretanto isso não é verdadeiro. A célula microbiana pode variar de forma significativa no seu teor em nutrientes, além dos microrganismos variarem em teor de PB, o perfil de AA da PB microbiana. Valores entre 55 a 87% de PB na matéria seca da célula microbiana são relatados na literatura, assim como variações de mais de 100% na proporção de determinados AA na Pmic. Diversos fatores afetam a composição das células microbianas, entre eles o tipo de microrganismo, a fase de crescimento e a disponibilidade de nutrientes.

Uma vez que as células microbianas contêm proteínas, carboidratos, lipídios, minerais e vitaminas, é óbvio que esses nutrientes são necessários no meio ruminal para que a população microbiana possa se multiplicar.

Com relação ao crescimento microbiano, é necessário que dois conceitos distintos, mas relacionados, sejam compreendidos de forma clara: a produção microbiana e a eficiência microbiana. A eficiência de síntese de proteína microbiana (Emic) é definida como a quantidade de N microbiano sintetizado por kg de carboidrato (CHO) fermentado no rúmen. A produção de proteína microbiana (gN) é calculada pelo produto da quantidade de substrato

fermentado no rúmen (kg de CHO) multiplicada pela eficiência microbiana (gN/kg CHO fermentado). Portanto, para se aumentar a quantidade de proteína microbiana produzida no rúmen, há duas possibilidades: melhorar a eficiência microbiana ou aumentar a disponibilidade de substrato para os microrganismos. Entretanto esses dois valores nem sempre caminham na mesma direção. Como exemplo, tem-se o efeito

Tabela 1 – Escore químico¹, índice de AAE (AAEI²) e AAE mais limitantes³ de diferentes fontes de proteína, quando comparadas com a proteína do leite.

Fonte de proteína	His	Phe	Leu	Thr	Met	Arg	Val	Ile	Trp	Lis	AAEI	AA limitantes
Farinha de sangue	100	100	93	86	45	33	70	10	76	91	60	Ile Arg Met
Farinha de peixes	77	69	58	68	100	59	59	47	71	80	68	Ile Leu Val
Farinha de penas	11	59	66	59	23	32	38	32	29	13	34	His Lis Met
Farinha de carne	67	65	46	59	49	76	51	36	39	58	53	Ile Trp Leu
Farinha de carne e ossos	64	64	46	59	49	76	48	36	32	55	51	Trp Ile Leu
Farelo de glúten de milho - 60	67	100	100	60	100	36	48	40	30	18	52	Lis Trp Arg
Farelo de alfafa	69	100	55	80	60	50	66	51	100	46	65	Lis Arg Ile
Resíduo de cervejaria	56	100	83	65	78	53	65	74	87	34	67	Lis Arg His
Resíduo de destilaria	74	84	72	63	81	42	53	38	45	24	54	Lis Ile Arg
Farelo de soja	89	100	56	74	56	89	60	55	75	70	71	Ile Leu Met
Microrganismos	90	97	54	100	97	79	66	61	99	100	82	Leu Ile Val

Adaptada de Santos *et al.* (1998). 1: calculado como (% dos AA na fonte de proteína / % dos AA na proteína do leite) x 100. O escore 100 é o máximo possível, e significa que a fonte de proteína tem a mesma % dos AA em questão em relação à proteína do leite; 2: AAEI = [(log dos AAE na fonte de proteína) / (log dos AAE na proteína do leite)] x 100; 3: listados em ordem de limitação.

Tabela 2 – Comparação dos perfis de AAE dos tecidos corporais e leite com os de microrganismos ruminais e fontes comum de alimentos para ruminantes.

Item	Arg	His	Ile	Leu	Lis	Met	Phe	Thr	Trp	Val	AAE
	% dos AAE totais										(% da PB)
Produtos animais											
Tecidos	16,8	6,3	7,1	17,0	16,3	5,1	8,9	9,9	2,5	10,1	---
Leite	7,2	5,5	11,4	19,5	16,0	5,5	10,0	8,9	3,0	13,0	---
Microrganismos ruminais											
Bactérias	10,2	4,0	11,5	16,3	15,8	5,2	10,2	11,7	2,7	12,5	---
Bactérias	10,6	4,3	11,6	15,5	17,3	4,9	10,0	11,0	2,6	12,2	---
Protozoários	9,3	3,6	12,7	15,8	20,6	4,2	10,7	10,5	2,8	9,7	---
FORAGEMS											
Feno de alfafa	12,5	4,7	10,3	17,9	12,4	3,8	11,6	10,6	3,6	12,7	41,2
Silagem de alfafa	10,9	4,7	11,1	17,9	12,1	3,8	11,7	10,7	2,7	14,1	35,6
Silagem de milho	6,2	5,7	10,6	27,2	7,9	4,8	12,1	10,1	1,4	14,1	31,6
Feno de gramínea	11,7	4,9	10,0	18,8	10,5	3,9	11,8	10,9	3,7	13,6	33,1
Silagem de gramínea	9,4	5,1	10,9	18,8	10,1	3,7	13,4	10,2	3,3	15,0	32,6
Grãos											
Cevada	13,4	6,1	9,2	18,5	9,6	4,5	13,5	9,1	3,1	13,0	37,7
Milho quebrado	11,5	7,8	8,2	27,9	7,1	5,3	11,5	8,8	1,8	10,0	40,1
Farelo de glúten de milho - 21	10,9	8,3	8,8	25,4	7,7	4,5	10,4	9,8	1,6	12,6	35,4
Aveia	16,6	5,9	9,1	17,7	10,1	4,2	12,5	8,4	2,9	12,6	41,2
Sorgo	9,4	5,7	9,3	31,9	5,4	4,2	12,3	7,8	2,5	11,6	42,8
Trigo	13,6	7,1	9,6	19,3	8,1	4,6	13,3	8,4	3,5	12,3	34,4
Proteínas de origem vegetal											
Resíduo seco de cervejaria	14,7	5,1	9,8	20,0	10,4	4,3	11,7	9,1	2,5	12,1	39,2
Farelo de canola	16,5	6,6	9,0	15,9	13,2	4,4	9,5	10,4	3,4	11,1	42,6
Resíduo de destilaria de milho	10,7	6,6	9,8	25,4	5,9	4,8	12,9	9,1	2,3	12,4	37,8
Farelo de glúten de milho - 60	7,1	4,7	9,1	37,2	3,7	5,2	14,1	7,5	1,2	10,3	45,2
Farelo de algodão	26,0	6,6	7,3	13,8	9,7	3,7	12,5	7,6	2,8	10,0	42,6
Farelo de linho	20,9	4,8	11,0	14,5	8,7	4,2	11,1	8,9	3,7	12,3	42,2
Farelo de amendoim	27,6	6,0	8,1	15,9	8,3	2,9	12,1	6,7	2,4	9,8	40,1
Farelo de cártamo	22,4	6,5	7,3	16,7	8,1	3,7	11,7	7,1	3,6	12,9	39,0
Farelo de soja	16,2	6,1	10,1	17,2	13,9	3,2	11,6	8,7	2,8	10,2	45,3
Farelo de girassol	20,8	6,2	9,9	15,2	8,0	5,6	11,0	8,7	2,9	11,7	42,2
Proteínas de origem animal											
Farinha de sangue	7,8	11,3	2,2	22,7	15,9	2,1	12,1	7,7	2,8	15,4	56,4
Farinha de penas	16,2	2,7	11,4	19,9	6,0	1,8	11,6	11,1	1,7	17,6	42,7
Farinha de peixes (Menhaden)	13,1	6,4	9,2	16,2	17,2	6,3	9,0	9,4	2,4	10,8	44,5
Farinha de carne e ossos	19,5	5,3	7,7	17,2	14,5	3,9	9,4	9,1	1,6	11,8	35,7
Soro de leite	5,0	4,5	12,1	21,2	17,6	3,3	7,0	14,1	3,5	11,7	42,2

Fonte: NRC (2001).

da proporção concentrado:volumoso da ração no crescimento microbiano. O aumento do teor de concentrado na ração aumenta a quantidade de substrato para a fermentação ruminal e, portanto, aumenta a quantidade de Pmic produzida. Entretanto a Emic é reduzida nesses casos em decorrência das reduções na taxa de diluição e no pH ruminal. O aumento no teor de forragem na ração, normalmente aumenta a Emic, mas reduz a produção de proteína microbiana (g de N microbiano).

Fontes de energia

Os microrganismos ruminais necessitam de energia para se multiplicar. De modo geral, a quase totalidade desses microrganismos utiliza apenas carboidratos (CHO) como fontes de energia. Algumas poucas espécies de microrganismos ruminais têm a capacidade de obter energia de proteína, ao passo que nenhuma espécie é capaz de utilizar gordura como fonte energética. Quanto ao tipo de CHO que fermentam, as

bactérias podem ser divididas, grosseiramente, em fermentadoras de CHO fibrosos (CF) e fermentadoras de CHO não fibrosos (CNF). Celulose, hemicelulose, açúcares, amido e pectina são os CHO mais utilizados pelos microrganismos como fontes de energia.

Diversos trabalhos têm mostrado que, após a hidrólise dos polímeros, as diferentes hexoses e pentoses resultantes são fermentadas rapidamente e suportam crescimento microbiano com igual eficiência. A produção microbiana, entretanto, pode não ser a mesma, por causa da variação nas taxas de degradação dos diferentes CHO. No rúmen, os CNF suportam maior produção microbiana que os CF, em decorrência da sua maior taxa e extensão de degradação. As taxas de degradação da fração fibrosa (B_3) das forrageiras tropicais são normalmente inferiores a 10%/h. Já as taxas de degradação dos açúcares (A_2), presentes tanto nas forrageiras como nos grãos e subprodutos, são muito altas, podendo ultrapassar 300%/h, enquanto as do amido (B_1) e da pectina (B_2) são intermediárias, da ordem de 10 a 40%/h.

Rações ricas em concentrado suportam maior produção microbiana em razão do maior teor de açúcares, amido e pectina, quando comparadas com rações ricas em forragem. Os açúcares são totalmente degradados no rúmen. A pectina em geral é quase totalmente degradada no rúmen, ao redor de 95%. Já o amido tem sua degradabilidade ruminal variável em razão de 2 fatores principais, a fonte de amido e o tipo e grau de processamento dessa fonte. Valores tão baixos como 50% ou menos podem ser observados para grãos de milho inteiros ou quebrados, contra 75 a 85% para grãos floculados ou ensilados (silagem de grãos úmidos). Quanto mais degradável no rúmen for o CHO, mais energia será disponibilizada para o crescimento microbiano. A maioria dos dados indica que a maior produção microbiana com fontes de amido de alta degradabilidade ruminal se deve à maior disponibilidade de energia dessas fontes, uma vez que a eficiência microbiana geralmente não é afetada.

Fontes de compostos nitrogenados

O teor de PB, de PDR e a qualidade da PDR podem afetar o crescimento microbiano, já que as principais fontes de N para os microrganismos do rúmen são amônia, aminoácidos e peptídeos. As bactérias fermentadoras de CF requere-

rem amônia como fonte de N, enquanto as fermentadoras de CNF têm um maior requerimento por aminoácidos e peptídeos do que por amônia.

As bactérias ruminais utilizam dois mecanismos distintos para a fixação de amônia nos esqueletos carbônicos durante a síntese de AA:

- a. através da enzima glutamina sintetase (GS);
- b. através da enzima glutamato desidrogenase (GDH).

Quando a concentração de amônia ruminal é alta, predomina a ação da GDH. Essa enzima não requer ATP para a fixação de amônia. Por outro lado, a atuação da enzima GS predomina quando a concentração de amônia ruminal é baixa. No caso da GS, para cada mole de amônia fixada há a utilização de 1 mole de ATP. Portanto, quando a concentração de amônia ruminal é baixa, a eficiência de síntese microbiana é reduzida, pois parte da energia que seria destinada para crescimento é utilizada no processo de fixação da amônia.

Tem sido mostrado que a adição de aminoácidos e peptídeos em culturas *in vitro* aumenta tanto a eficiência como a produção microbiana comparada com um meio que contém apenas amônia. Para que as bactérias ruminais consigam sintetizar AA a partir da amônia, elas necessitam de energia e de esqueletos carbônicos, dentre outros nutrientes. Os esqueletos carbônicos são ácidos graxos de cadeia ramificada, no caso, os ácidos n-valérico, isovalérico, isobutírico e 2-metil-butírico. O ácido n-valérico origina-se da deaminação dos AA prolina, lisina, arginina ou de CHO. Os demais ácidos, isovalérico, isobutírico e 2-metilbutírico são originados da deaminação dos AA de cadeia ramificada, valina, isoleucina e leucina, respectivamente. As bactérias fermentadoras de CF são altamente dependentes desses compostos, pois utilizam apenas amônia como fonte de N e requerem esses esqueletos carbônicos para incorporar a amônia e sintetizarem seus AA.

Controvérsia ainda existe quanto à concentração mínima de amônia no fluido ruminal para maximizar a síntese microbiana. Trabalhos iniciados *in vitro* sugeriram que valores tão baixos quanto 2 a 5 mg de N amoniacal/dL de fluido ruminal seriam suficientes em rações ricas em fibra. Esses valores são inferiores aos normalmente obti-

dos em condições práticas com vacas leiteiras e novilhos de corte alimentados com rações bem balanceadas para desempenho elevado. Trabalhos conduzidos *in situ* têm sugerido valores bem superiores a 2 a 5 mg/dL, ou seja, da ordem de até 22 mg de N amoniacal/dL de fluido ruminal para maximizar a fermentação de fontes de CHO de alta degradabilidade. É de se esperar que o teor ótimo de N-amoniacal seja variável em razão da disponibilidade de energia fermentável no rúmen. A bibliografia consultada mostrou de forma consistente que a substituição parcial ou total de uma fonte proteica rica em PDR, como o farelo de soja, pelas mais diversas fontes comerciais ricas em PNDR, diminuiu a passagem de proteína microbiana para o duodeno. Essa observação, com certeza, ocorreu por causa da menor disponibilidade de PDR no fluido ruminal. É mais provável que essa ocorrência seja devida, principalmente, à limitação de amônia no fluido ruminal e não à limitação de peptídeos e AA.

A degradabilidade ruminal das fontes proteicas pode afetar a disponibilidade ruminal de amônia, aminoácidos e peptídeos para a síntese microbiana. Os antigos sistemas proteicos baseados em PB desconsideravam as exigências microbianas em compostos nitrogenados. Com a publicação do sistema de Proteína Absorvida (NRC, 1985), posteriormente denominado Sistema de Proteína Metabolizável (NRC, 1996; 2001), tornou-se possível balancear as rações tanto em PDR, para suprir as exigências dos microrganismos ruminais, como em PNDR, para complementar a Pmic e suprir a exigência de PM do ruminante. Entretanto esses sistemas consideram a fração PDR como uma fração única e não permitem ajustes dos 3 compostos nitrogenados (peptídeos, AA e amônia) exigidos para otimizar a síntese microbiana. O modelo de Cornell (CNCPS) considera essas exigências distintamente e tem fatores de ajuste para o cálculo da Pmic em razão da disponibilidade desses 3 compostos.

Alguns autores têm sugerido que valores entre 10 a 13% de PDR na matéria seca da ração de vacas leiteiras são requeridos para maximizar a síntese microbiana, dependendo do teor de CHO fermentável no rúmen. Tanto o NRC (2001) de gado de leite quanto o NRC (1996) de gado de corte calculam a quantidade de proteína microbiana produzida no rúmen com base no NDT da ração. A fórmula utilizada é:

$$\text{kg de Pmic} = \text{kg de NDT} \times 0,13$$

Apesar de calcularem a produção microbiana com a mesma fórmula, os cálculos das exigências de PDR diferem nos dois sistemas. O NRC (1996) de gado de corte considera que para cada kg de Pmic produzida no rúmen, é necessário 1 kg de PDR. Já o NRC (2001) de gado de leite requer 1,18 kg de PDR para cada kg de Pmic produzida no rúmen. Caso essa quantidade de PDR não seja suprida, o NRC (2001) adota a seguinte fórmula para o cálculo de Pmic:

$$\text{kg Pmic} = \text{kg PDR} \times 0,85$$

Minerais e Vitaminas

De modo geral, os modelos de exigências nutricionais de ruminantes não têm considerado as exigências em minerais dos microrganismos ruminais. Entretanto, para cobalto e enxofre, tem sido chamada atenção sobre a importância desses para a síntese de propionato e de AA sulfurados no rúmen, respectivamente.

É sabido que diversas vitaminas do complexo B são requeridas pelos microrganismos ruminais, contudo, tem-se considerado que, na maioria das condições normais de produção, a alimentação cruzada no rúmen deve suprir esses nutrientes.

Cinética e ambiente ruminal

Outros fatores além da disponibilidade de nutrientes interferem no crescimento microbiano. Dentre eles, a taxa de passagem e o pH ruminal.

A taxa de passagem (%/h) tanto de líquidos como de sólidos tem grande impacto na eficiência microbiana. As bactérias passam para o duodeno tanto com a fase líquida do conteúdo ruminal como aderidas às partículas sólidas. Com base nesse fato, tem sido proposto que a taxa de passagem de microrganismos para o duodeno poderia ser expressa como:

$$K_m = P_s K_s + P_l K_l$$

K_m = taxa de passagem de microrganismos;

$P_s, P_l =$ proporção de microrganismos associados à fase sólida e líquida;
 $K_s, K_l =$ taxa de passagem da fase sólida e líquida.

A eficiência microbiana aumenta à medida que a taxa de passagem microbiana aumenta. Isso se deve à redução na exigência de manutenção dos microrganismos. A renovação mais rápida do conteúdo ruminal propicia uma população microbiana mais jovem, que tem uma menor exigência de manutenção e que direciona a maior parte dos nutrientes para o seu crescimento. Com exceção do modelo de Cornell (CNCPS), os demais modelos assumem uma eficiência microbiana constante, independentemente da taxa de passagem ruminal.

A taxa de passagem do conteúdo ruminal é afetada por diversos fatores, como consumo de matéria seca, proporção forragem:concentrado, processamento dos alimentos, dentre outros. O aumento no consumo de matéria seca resulta em maior taxa de passagem ruminal e maior disponibilidade de substrato para os microrganismos. O resultado, normalmente, é um efeito positivo tanto na eficiência quanto na produção microbiana. O aumento na proporção de forragem na ração favorece a eficiência microbiana. Esse fato se deve ao ambiente ruminal mais favorável em termos de pH e taxa de passagem de líquidos mais rápida. A produção microbiana por outro lado é reduzida, em consequência da redução no teor de CHO fermentáveis no rúmen. O processamento dos alimentos, principalmente dos grãos de cereais, também afeta o crescimento microbiano por causa da maior taxa de degradação do amido. Nesses casos, a eficiência microbiana geralmente não é afetada, podendo até ser prejudicada quando o pH ruminal é reduzido. Entretanto a produção microbiana é aumentada, como resultado da maior disponibilidade de energia no rúmen.

O pH ruminal interfere com a eficiência microbiana, principalmente das bactérias fermentadoras de CF, que são muito sensíveis a valores de pH inferiores a 6,0. Tanto o NRC (1996) gado de corte quanto o modelo de Cornell (CNCPS) adotam um procedimento mecânico de ajuste do efeito do pH ruminal sobre a eficiência microbiana. Esse ajuste está baseado no teor de FDN efetiva na ração. Para cada 1 unidade percentual de redução no teor de FDN efetiva na ração abai-

xo de 20% (NRC, 1996) ou 23% (CNCPS), a eficiência microbiana é automaticamente reduzida em 2,2%. Como exemplo, em rações com 17% de FDN_e, no NRC (1996) nível 1, a quantidade de proteína microbiana produzida é calculada como:

$$\text{kg Pmic} = (\text{kg NDT} \times 0,13) \times 0,934$$

Sincronização da degradação ruminal de energia e proteína

Muito se tem discutido quanto às vantagens de se formular rações em que a taxa de degradação de CHO esteja sincronizada com a taxa de degradação de proteínas. De maneira geral, todos os sistemas proteicos buscam de alguma forma alcançar esse objetivo. Dentre eles, o mais complexo e aprimorado é o modelo de Cornell (CNCPS), que tenta integrar a degradação das diferentes frações dos CHO com as diferentes frações proteicas em função do tipo de população microbiana. A sincronização da degradação da proteína com a de CHO no rúmen permite maximizar o uso da PDR e minimizar as perdas de amônia através da parede ruminal.

Digestão e absorção intestinal

As fontes de proteína que chegam ao intestino dos ruminantes são a Pmic, a PNDR e a proteína endógena. A mistura de AA provenientes da digestão dessas fontes é denominada proteína metabolizável (PM).

O processo de digestão da proteína no abomaso e intestino dos ruminantes é muito parecido com o processo em não ruminantes, exceto pela neutralização lenta da acidez da digesta duodenal. A digestão da proteína que deixa o rúmen tem início com a ação da pepsina no abomaso, ação essa prolongada no duodeno pela neutralização lenta da digesta nesse compartimento. Entretanto a maior parte da digestão ocorre no jejuno médio, no qual as enzimas pancreáticas, tripsina, quimotripsina e carboxipeptidases apresentam atividade máxima; e no íleo médio, em que ocorre o pico da atividade das aminopeptidases e dipeptidases secretadas pelo intestino.

A pepsina age sobre as moléculas de proteínas e produz peptídeos no geral. Tripsina e

quimotripsina agem sobre proteínas e peptídeos e produzem polipeptídeos e dipeptídeos. Carboxipeptidases agem sobre polipeptídeos e produzem pequenos peptídeos e AA livres. As aminopeptidases agem sobre polipeptídeos e produzem pequenos peptídeos e AA livres, enquanto as dipeptidases transformam dipeptídeos em AA livres.

A proteína microbiana e a endógena contêm, além de AA, ácidos nucleicos. O NRC (2001) assume que a Pmic contém 80% de proteína verdadeira e 20% de ácidos nucleicos, e que a digestibilidade da proteína verdadeira é 80%, ou seja, o teor de PM na Pmic é de 64%. Nesse modelo, a proteína endógena contém 50% de proteína verdadeira com digestibilidade de 80%. Já a PNDR é considerada 100% proteína verdadeira, com coeficientes de digestibilidade que variam de 50 a 100% dependendo da fonte proteica de origem. O NRC (1996) nível 1 não considera a proteína endógena e assume valor constante de digestibilidade da PNDR de 80%. O modelo de Cornell (CNCPS) assume que a PMic contém 60% de proteína verdadeira, com 100% de digestibilidade, ou seja, o teor de PM na Pmic é de 60%. Para o cálculo da contribuição da PNDR para a PM, o CNCPS considera valores de digestibilidade intestinal de 100% para as frações proteicas B₁ e B₂, 80% para B₃ e 0% para a fração C.

A mucosa do intestino delgado contém sítios para a absorção de peptídeos, AA, nucleotídeos e nucleosídeos. Acreditava-se, inicialmente, que apenas a absorção de AA era de importância para o ruminante, e que a absorção de peptídeos era insignificante ou nula. Dados posteriores confirmaram a ocorrência da absorção de peptídeos de forma significativa no intestino. Entretanto acreditava-se que todo peptídeo absorvido era metabolizado na mucosa intestinal e transportado pela veia porta apenas na forma de AA livres. Evidências vêm se acumulando de que não apenas AA, mas também pequenos peptídeos são absorvidos pelo intestino e transportados como tais para o fígado. A absorção ocorre principalmente no jejuno médio e íleo médio, por intermédio de um processo similar ao da absorção de glicose. É um processo que requer energia e que também utiliza transportadores dependentes de sódio. Pelo menos 4 e talvez até 6 sistemas transportadores distintos ocorrem, específicos para diferentes grupos de AA. Os AAE são absorvidos a uma taxa mais rápida que os AANE.

Metabolismo de AA pelos tecidos

Após a absorção, os AA são utilizados pelos tecidos do animal principalmente para a síntese de proteínas. Porção considerável dos AA absorvidos é utilizada pelo fígado para a síntese de glicose (gliconeogênese). Os AA podem também ser convertidos em lipídios e outros compostos de grande importância, como grupo heme, purinas, pirimidinas, hormônios e neurotransmissores. Os AA não utilizados nesses processos são deaminados, originando amônia e esqueletos carbônicos. Os esqueletos carbônicos podem ser oxidados a CO₂ e água, com geração de energia. De modo geral, o catabolismo de AA, seja para a síntese de glicose (gliconeogênese) no fígado, ou oxidação a CO₂ e H₂O, tem como via comum o ciclo do ácido tricarbólico (ciclo de Krebs).

Alguns AA exercem funções reguladoras no processo de integração de metabolismo entre tecidos periféricos e o fígado. O metabolismo dos diversos AA é coordenado pela ação de hormônios. Quando a ingestão de proteína está abaixo da exigência de manutenção, o metabolismo de AA é coordenado principalmente pela insulina, que reduz a degradação de proteína no tecido muscular e a oxidação de AA de cadeia ramificada. Quando a ingestão está acima da exigência de manutenção, a degradação de AA e síntese de proteína são reguladas, principalmente, pelo sistema hormônio do crescimento e IGF-I.

Porção considerável da utilização de AA pelos ruminantes ocorre nas vísceras drenadas pela veia porta, antes de chegar ao fígado. Rúmen e intestinos são drenos intensos de glicose e AA. O fígado é outro órgão que utiliza intensamente AA, tanto para síntese de tecidos como também para a síntese de glicose. Dados com vacas em lactação sugerem que os AA que chegam ao fígado podem responder por até 17% da glicose produzida nesse órgão. De acordo com vários estudos, aproximadamente 50% do metabolismo de AA e peptídeos em bovinos ocorrem no sistema esplânico (vísceras drenadas pela veia porta + fígado), ou seja, essas vísceras utilizam 50% dos AA e peptídeos metabolizados pelo animal.

Tem sido demonstrado, em trabalhos recentes, que os AA ligados na forma de peptídeos

perfazem uma porção significativa dos AA presentes no plasma arterial, assim como uma porção significativa do fluxo líquido de AA na veia porta. Também tem sido demonstrado que os tecidos dos ruminantes utilizam não apenas AA, mas também pequenos peptídeos para a síntese de proteína. Apesar da controvérsia que ainda existe nesse ponto, nos estudos de metabolismo da glândula mamária, tem sido demonstrado que esse órgão extrai do sangue boa parte dos AA ligados na forma de peptídeos e que os utiliza tanto para a síntese de proteína do leite como para outros processos metabólicos.

Sistemas proteicos para ruminantes

Por muitos anos, a proteína bruta foi o principal parâmetro usado para a determinação das exigências proteicas na formulação de rações para ruminantes, em razão, principalmente, da falta de informações e dados sobre as exigências em AAE desses animais como também pela falta de um banco de dados com valores consistentes de degradabilidade ruminal e perfil de aminoácidos das fontes proteicas. A excelente qualidade da proteína microbiana sintetizada no rúmen permite a ela complementar, em muitos casos, as deficiências das frações das fontes proteicas da ração que escapam da degradação ruminal. Esse fato também retardou o interesse em busca de métodos mais sofisticados para a determinação das exigências proteicas para ruminantes. Pesquisas conduzidas nos anos 60 mostraram que o rúmen foi capaz de suprir toda a proteína necessária para a produção de até 4.500 kg de leite/lactação de vacas recebendo ureia como única fonte de N. Entretanto, a produção de leite por vaca, nos rebanhos leiteiros de países desenvolvidos, praticamente dobrou nos últimos 30 anos, sendo comum rebanhos com produção média por vaca em torno de 9.000 a 14.000 kg/leite/ano. Do mesmo modo, ganhos consideráveis vêm sendo obtidos no potencial genético de animais de corte. Esses fatos têm exigido um aprimoramento cada vez maior do conhecimento da nutrição proteica de ruminantes. Para animais com desempenho elevado, o rúmen não é capaz de suprir toda a proteína necessária para a manutenção corporal e produção, aumentando assim a importância da fonte proteica da ração. Uma maior quantidade de proteína da ração tem que escapar da fermentação ruminal para ser digerida no intestino, porém sem que haja limita-

ção de N para a síntese de proteína microbiana no rúmen. Não apenas a quantidade de proteína microbiana e de proteína alimentar que escapa da fermentação ruminal são importantes, mas também a qualidade desta última, a qual pode ter um grande impacto na nutrição proteica de ruminantes. O perfil de aminoácidos essenciais (AAE) na proteína que chega ao intestino é tão importante quanto a quantidade dessa proteína para que se possa maximizar o desempenho.

Em virtude das limitações do sistema de proteína bruta em estimar as exigências proteicas de bovinos de alta produção, novos sistemas foram publicados tanto na América do Norte quanto na Europa durante os últimos 20 anos (NRC, 1985; NRC, 1989; AFRC, 1992; CNCPS, 1992; NRC, 1996 e NRC, 2001).

O sistema de proteína metabolizável (ARC, 1992) estima o grau no qual a proteína alimentar é degradada no rúmen para suprir proteína degradável aos microrganismos. A quantidade de proteína não-degradável que escapa da fermentação ruminal para ser digerida no intestino é calculada por diferença.

O sistema de CORNELL é um sistema dinâmico o qual tem um submodelo de fermentação que compara as taxas de fermentação de carboidratos com as de degradação de proteínas e estima a quantidade de matéria orgânica digerida no rúmen, síntese de proteína microbiana, produção de amônia, fluxo de material não digerido para o intestino delgado, digestibilidade intestinal dos alimentos e, finalmente, o aporte de energia e proteína metabolizáveis.

O sistema de proteína metabolizável mais difundido na América do Norte para bovinos de leite e corte é o sistema proposto inicialmente pelo NRC (1985) e aprimorado pelas edições mais recentes para gado de corte e leite (NRC, 1996; 2001). Esse sistema divide a proteína bruta nas frações degradável e não-degradável no rúmen. Isso permite individualizar os requerimentos proteicos do rúmen em PDR, assim como os requerimentos do bovino em PNDR, com o objetivo de suprir suas exigências em PM. Esses sistemas adotam o método fatorial para estimar os requerimentos de proteína metabolizável para as diferentes categorias animais.

Desde a publicação do NRC (1985), um grande número de estudos tem sido conduzido para

se determinar as quantidades e as fontes mais adequadas de PDR e PNDR, especialmente para vacas leiteiras, a fim de se maximizar o fluxo de aminoácidos para o intestino e o desempenho desses animais. Trabalhos com bovinos de corte têm sido publicados em menor número.

Baseados nas recomendações do NRC (1985, 1989), diversos autores sugeriram a existência de uma possível deficiência de PNDR em rações para vacas leiteiras de alta produção, quando suplementos proteicos convencionais pobres em PNDR (como farelo de soja) são fornecidos. Em tais condições, a suplementação com fontes ricas em PNDR poderia teoricamente aumentar a produção de leite.

Caracterização das fontes proteicas

As fontes de compostos nitrogenados utilizadas na alimentação de bovinos podem ser classificadas como fontes de nitrogênio não-proteico (NNP) e de nitrogênio proteico.

A principal fonte de NNP utilizada em rações para ruminantes é a ureia, que é adicionada na ração por dois motivos básicos. Do ponto de vista nutricional, ela é usada para adequar a ração em PDR. Do ponto de vista econômico, ela é utilizada com o objetivo de baixar o custo da suplementação proteica.

A utilização eficiente da ureia pelos ruminantes exige alguns cuidados:

- a. dose correta e mistura uniforme do material no concentrado, no volumoso ou na ração completa, para evitar intoxicação do animal;
- b. disponibilidade de energia para que as bactérias ruminais consigam utilizá-la para a síntese de proteína microbiana;
- c. Adequação mineral da ração, especialmente quanto ao enxofre, para que a síntese de AA sulfurados não seja limitada.

Tentar fixar doses ótimas ou máximas generalizadas de ureia por animal, como tradicionalmente feito no passado, deixou de fazer sentido com o desenvolvimento dos sistemas proteicos atuais, que permitem balancear a ração em PDR. A adequação de PDR da ração deve ser o critério

determinante da dose ótima de ureia. Deve-se levar em conta também se a ureia é fornecida via concentrado, misturada ao volumoso ou à ração completa. Obviamente que, quando adicionada ao concentrado, a dose de ureia tem que ser menor.

A exigência em proteína metabolizável, em termos relativos, é decrescente à medida que o animal cresce. A alta exigência em PM de bezerrinhos jovens, normalmente, limita a utilização da ureia nas rações, uma vez que para se suprir toda sua exigência em PM, a dose de farelo de soja ou de algodão é alta e normalmente resulta em excesso de PDR na ração. Nesse caso, incluir ureia seria improdutivo. Rações para vacas leiteiras com produções superiores à 35 kg de leite, que recebem farelo de soja ou de algodão como principal suplemento proteico, geralmente apresentam excesso de PDR quando se busca adequar o suprimento de PM. Nesse caso, dificilmente se justifica o uso de ureia. Entretanto vacas com produções inferiores a 35 kg de leite/dia e animais de corte a partir de determinada fase de crescimento e na fase de terminação, são capazes de utilizar ureia com grande eficiência, quando é adicionada na ração na dose correta. A utilização de suplementos ricos em PNDR, em substituição ao farelo de soja ou de algodão, aumenta as possibilidades da inclusão de ureia na ração, mesmo para vacas de alta produção de leite.

As fontes de nitrogênio proteico podem ser classificadas em fontes ricas, intermediárias ou pobres em PDR ou em PNDR. De modo geral, grãos de soja, farelo de soja, farelo de amendoim, farelo de girassol, farelo de canola e farelo de glúten - 21 (refinasil ou promil) são exemplos de fontes ricas em PDR. Farelo de algodão é uma fonte intermediária. Exemplos de fontes ricas em PNDR são: farinha de peixes, farinha de carne e ossos, farinha de penas, farinha de sangue, farelo de glúten de milho - 60 (protenose ou glutenose), grãos destilados, resíduo de cervejaria, farelo de soja tratado a altas temperaturas, farelo de soja tratado quimicamente, farelo de soja *expeller* e grãos de soja tostados.

De modo geral, as fontes ricas em PNDR passaram por algum tipo de tratamento que resultou em redução na degradabilidade da sua proteína. As formas mais comuns de tratamento são:

a. tratamento térmico: consiste na exposição do material a altas temperaturas, com ocorrência das reações de "Maillard" e aumento na presença das pontes de dissulfeto, que diminuem a degradabilidade da proteína;

b. tratamentos químicos.

Quando se formula ração para bovinos, em termos de adequação proteica, deve-se ter por objetivo suprir quantidade adequada de PDR para maximizar a síntese microbiana e então complementá-la com PNDR, para suprir as exigências do bovino em proteína metabolizável. Além disso, para que a resposta seja maximizada, é importante que a fonte de PNDR seja de alta qualidade para que o perfil de AAE da PM seja adequado.

De modo geral, conforme já mencionado, as fontes ricas em PNDR podem ser classificadas qualitativamente com base no seu perfil de AAE. Essas fontes têm sido estudadas em termos de métodos de processamento, perfil ou balanço de AAE, e como elas poderiam complementar a proteína microbiana que chega ao intestino, para simular o perfil de aminoácidos da proteína do leite ou tecido animal.

Conforme já discutido, com base nos dados das **Tabelas 1 e 2**, pode-se calcular um valor químico dessas fontes proteicas em relação à proteína do leite ou do tecido animal, para cada um dos 10 AAE, e um "índice de aminoácido essencial" pode ser calculado, levando-se em conta a eficiência de utilização de cada aminoácido. A adoção desse procedimento mostra que a proteína microbiana é a melhor fonte proteica disponível para a síntese de proteína do leite ou tecido animal. O farelo de soja convencional, por causa do seu balanço adequado para a maioria dos AAE, ficou em segundo lugar, seguido da farinha de peixes que é uma fonte excelente de Lis e Met.

Outra forma que tem sido recomendada para avaliar a qualidade das fontes proteicas ricas em PNDR é quanto ao teor dos dois AAE mais limitantes (Lis e Met) na maioria das rações para bovinos de leite e corte, em relação ao total de AAE. Valores ao redor de 15% de Lis e 5% de Met têm sido sugeridos como ideal. A relação Lis:Met de 3:1 na PM tem se mostrada adequada para maximizar o desempenho de vacas leiteiras.

Dos suplementos proteicos apresentados nas **Tabelas 1 e 2**, apenas a farinha de peixes possui um excelente balanço de Lis e Met. A farinha de sangue é alta em Lis, mas muito baixa em Met, enquanto o farelo de glúten de milho (glutenose ou protenose) é alto em Met, mas muito pobre em Lis. Tais desequilíbrios podem ter efeitos negativos no desempenho de vacas leiteiras. Os grãos destilados e o resíduo de cervejaria são pobres em Lis, mas boas fontes de Met, enquanto a farinha de penas é uma fonte muito pobre em ambos, Lis e Met. O farelo de soja e a farinha de carne e osso são boas fontes de Lis, mas com certa deficiência em Met. Entretanto essas duas fontes não apresentam sérios desequilíbrios no balanço desses 2 aminoácidos.

É importante frisar que as fontes de proteína de origem animal, como farinha de peixes, farinha de carne e farinha de sangue foram proibidas no Brasil e em diversos países, em virtude do risco de transmissão do "mal da vaca louca".

Nutrição proteica e desempenho animal

Bovinos leiteiros

Teor de proteína na ração

A otimização do balanço entre síntese de proteína microbiana e degradação de proteína no rúmen de vacas em lactação é uma ferramenta importante para maximizar a produção de leite, a eficiência de uso do N e, ao mesmo tempo, reduzir a excreção de N para o ambiente.

Sistemas de proteína metabolizável atuais (CNCPS, 1992; NRC, 2001) permitem estimar a degradabilidade ruminal da proteína para suprir as exigências de PDR dos microrganismos e as exigências de proteína metabolizável da vaca leiteira. Esses sistemas também permitem um avanço ainda maior, o balanceamento de aminoácidos da proteína metabolizável, principalmente no tocante a Lis e Met.

De acordo com a literatura, aumentar o teor de PB da ração pode reduzir a possibilidade de deficiência de aminoácidos no intestino e, assim, aumentar a produção de leite. Entretanto, o fornecimento de rações com excesso de PB aumen-

ta o custo da ração, reduz a eficiência de uso do N e pode reduzir a fertilidade de vacas leiteiras.

De acordo com a revisão de 82 estudos apresentada no NRC (2001), a produção de leite aumentou 0,75 kg/vaca/dia quando o teor de PB na ração foi aumentado de 15% para 16% e apenas 0,35 kg/vaca/dia quando o teor de PB foi aumentado de 19% para 20%. A produção máxima de leite ocorreu com teores de 23% de PB na ração. Resultados similares foram reportados por Ipharraguerre e Clark (2005a), os quais utilizaram um banco de dados maior e mais atualizado (112 estudos publicados entre 1981 e 2003) e uma metodologia diferente de análise. Esses autores estimaram aumentos na produção de leite de 0,94 e 0,42 kg/vaca/dia quando o teor de PB da ração foi aumentado de 15% para 16% e de 19% para 20%, respectivamente. A produção máxima foi obtida com 22,8% de PB.

Na revisão do NRC (2001), o aumento na produção de leite com o aumento no teor de PB da ração não esteve correlacionado com aumento no consumo de MS. Efeito positivo do aumento do teor de PB da ração no consumo de MS é esperado quando a ração é deficiente em PDR. Essa ocorrência é mais comum em rações com teores de PB abaixo de 15%, mesmo assim há inconsistência nos dados.

Para esta publicação foram revisados 13 estudos sobre doses de PB em rações para vacas leiteiras de alta produção mantidas em confinamento, publicados no *Journal of Dairy Science* entre 2005 e 2009 (Ipharraguerre e Clark, 2005b; Reynal e Broderick, 2005; Groff e Wu, 2005; Olmos Colmeneiro e Broderick, 2006a,b; Kalscheur *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007; Cabrita *et al.*, 2007; Cyriac *et al.*, 2008; Law *et al.*, 2009). Vacas alimentadas com rações com menos de 15% de PB tiveram suas produções de leite aumentadas de forma consistente, quando os teores de PB das rações foram elevados para 15 a 17%. Na maioria desses estudos, o consumo de matéria seca também não foi afetado pelo teor de PB das rações.

Em 7 desses 13 estudos revisados, as vacas produziram entre 36,3 e 43,3 kg de leite/dia (Ipharraguerre e Clark, 2005b; Reynal e Broderick, 2005; Groff e Wu, 2005; Olmos Colmeneiro e Broderick, 2006a,b; Cyriac *et al.*, 2008). Para essas vacas de alta produção, aumentar o teor de PB da ração de 16,2-17,2% até 20% não aumen-

tou a produção de leite nos 7 estudos e não aumentou o consumo de MS em 5 estudos. A produção de proteína do leite não foi afetada em 6 dos 7 estudos, mas a concentração de ureia no leite aumentou nos 7 estudos e a eficiência de uso do N diminuiu em 6 estudos.

No Brasil, a maior parte do leite produzido é proveniente de sistemas de produção que utilizam pastagens tropicais manejadas de forma inadequada. Pastos passados e não adubados ainda são a regra. Nessas condições, a gramínea tropical, independentemente da espécie, apresenta baixo teor de PB. Para corrigir essa deficiência, faz-se necessário suplementar a vaca com concentrados com teores de PB entre 16 a 24%, dependendo da dose e da produção da vaca. Entretanto, quando essas pastagens são manejadas corretamente e adubadas para permitirem altas taxas de lotação, os teores de PB na MS da forragem colhida pela vaca variam de 12 a 22%. Esses teores de PB são determinados pelo ponto ideal de colheita, mas principalmente pela dose de N aplicado no pasto. Nessas condições, o teor de PB do concentrado deve ser reajustado para evitar excesso de PB para a vaca.

Em trabalho conduzido recentemente na ESALQ (Danés, não publicado), vacas no terço médio de lactação com produções de até 22,8 kg de leite/dia mantidas em pastagens de capim-elefante com 18,5% de PB, não responderam a mais do que 9,5% de PB (% da MS) no concentrado (milho moído e mistura mineral). Esse resultado está de acordo com o predito pelo NRC (2001).

Efeito de fontes proteicas no desempenho animal

Os dados apresentados a seguir são os resultados da revisão de literatura feita por Santos *et al.* (1998), que abrangeu trabalhos publicados entre 1985 a 1997. Nessa revisão, foram estudados os efeitos da substituição parcial ou total do farelo de soja (rico em PDR) por fontes ricas em PNDR. O farelo de soja foi utilizado nesses experimentos como o tratamento controle, por ser uma das fontes proteicas mais utilizadas para bovinos leiteiros. Foram compilados 29 comparações de 15 ensaios de metabolismo com animais canulados e 127 comparações de 88 ensaios de produção. Todos os ensaios foram realizados com vacas de alta produção, mantidas em sistemas de confinamento total, principalmente nos Estados Unidos e Canadá.

Efeito das fontes proteicas na passagem de frações nitrogenadas para o intestino

Com base em 29 comparações obtidas de 15 ensaios de metabolismo, observou-se que a substituição parcial ou total do farelo de soja por diferentes fontes ricas em PNDR não afetou o consumo de matéria seca, reduziu a passagem de proteína microbiana para o intestino e aumentou a passagem de proteína de origem alimentar. O resultado final foi que a passagem total de proteína para o intestino não foi aumentada pelas fontes ricas em PNDR. O fluxo de AAE também não foi aumentado pelas fontes ricas em PNDR. Um dos principais argumentos utilizados pelos pesquisadores e nutricionistas, para justificar a suplementação com fontes ricas em PNDR, sempre foi que um aumento no fluxo total de proteína e, conseqüentemente, de AAE para o intestino deveriam ocorrer.

De modo geral, as fontes ricas em PNDR não foram capazes de melhorar a qualidade da proteína que chegou ao intestino, pois as proporções dos dois AA mais limitantes para a produção de leite, Lis e Met, não foram aumentadas de forma balanceada na proteína que chegou ao intestino. A farinha de sangue pode aumentar a quantidade de Lis que chega ao intestino, mas baixa a quantidade de Met, enquanto o farelo de glúten de milho (glutenose ou protenose) aumenta a passagem de Met para o intestino, mas reduz a de Lis. A exceção foi a farinha de peixes que, de forma consistente, aumentou a proporção de ambos os AA na proteína metabolizável.

Com base nos dados obtidos nos ensaios de metabolismo, fica claro que, para se ter sucesso com a suplementação com fontes ricas em PNDR, é preciso respeitar dois pontos principais:

- a. balanceamento adequado da ração em PDR, para não limitar a síntese microbiana;
- b. utilizar fontes que melhorem ou pelo menos não piore o perfil de AAE da proteína que chega ao intestino, especialmente no tocante a Lis e Met. Infelizmente, a maioria das fontes ricas em PNDR são deficientes em um desses dois aminoácidos e, às vezes, em ambos. A maioria das fontes proteicas ricas em PNDR comercialmente disponíveis apresenta um perfil de aminoácidos inferior ao da proteína microbiana. Para vacas de alta produção, a farinha de peixes parece ser a mais promissora das fontes ricas em

PNDR para suprir adequadamente Lis e Met. Entretanto essa fonte proteica está proibida para bovinos no Brasil, assim como toda e qualquer fonte proteica de origem animal.

Efeito de fontes proteicas na produção e composição do leite

Os dados apresentados a seguir são o resultado da revisão de 127 comparações de 88 experimentos de lactação, nos quais o farelo de soja foi substituído parcial ou totalmente por fontes ricas em PNDR. As fontes ricas em PNDR estudadas foram farelo de soja tostado adicionalmente (FST), farelo de soja tratado quimicamente (FSQ), farelo de soja *expeller* (FSE), farelo de glúten de milho (FGM-60) comercializado no Brasil como protenose ou glutenose, farelo de grãos destilados (FGD), resíduo de cervejaria (RC), farinha de carne e ossos (FCO), farinha de sangue (FSG), farinha de penas (FPN) e farinha de peixes (FP).

Das 127 comparações, em apenas 17% delas, a suplementação com fontes ricas em PNDR aumentou a produção de leite em comparação ao FS. Possíveis explicações para a ausência de efeito positivo das fontes ricas em PNDR no desempenho de vacas leiteiras na maioria das comparações são:

- a. redução na síntese de proteína microbiana no rúmen por falta de PDR;
- b. baixa qualidade da fonte de PNDR em termos de balanço de aminoácidos essenciais;
- c. baixa digestibilidade das fontes de PNDR no intestino delgado;
- d. rações usadas como tratamento controle já adequadas em PNDR.

Os resultados positivos ocorreram principalmente quando as fontes de PNDR foram FP, FST, FSQ e FSE. O efeito positivo médio foi da ordem de 0,7 kg de leite por vaca dia. A FP foi a fonte que mais teve efeito positivo na produção de leite. As respostas positivas foram observadas principalmente com vacas com produções acima de 30 kg de leite/dia. Fontes ricas em PNDR, como RC, FGD, FCO, FSG, FPN não aumentaram a produção de leite em comparação ao FS. Já o FGM-60, comercializado no Brasil com os nomes de protenose ou glutenose, quando utilizado em doses médias a altas em substituição parcial ao FS, em rações com silagem de milho, diminuiu a produção de leite.

Em comparação ao FS, a suplementação com fontes ricas em PNDR causou mais efeitos negativos que positivos no teor de proteína do leite. Houve redução no teor de proteína do leite em 28, ausência de efeito em 93 e aumento em apenas 6 das 127 comparações, quando fontes ricas em PNDR foram suplementadas.

Quando duas fontes ricas em PNDR, mas com diferentes perfis em AAE foram utilizadas, os resultados foram marcantes. Farinha de peixes é considerada uma fonte de PNDR de alta qualidade wem virtude do seu ótimo teor em Lis e Met, enquanto FGM-60 é considerada uma fonte desequilibrada, pois é rica em Met mas muito pobre em Lis. Apesar de ambas as fontes serem ricas em PNDR, a produção de leite foi maior com FP.

O resumo geral de todas as comparações é apresentado na **Tabela 3**.

Com base nos dados da **Tabela 3**, pode-se concluir que a maioria das fontes ricas em PNDR não melhora o desempenho de vacas leiteiras em comparação ao FS. Entretanto existe potencial para ganhos em produção de leite com o uso de fontes ricas em PNDR para vacas leiteiras. Para que isso ocorra, algumas condições básicas devem ser observadas:

- vacas com produções inferiores a 30 kg normalmente têm toda a sua exigência

em PNDR suprida por fontes convencionais, como o FS e farelo de algodão;

- vacas com produções acima de 30 kg de leite/dia são mais prováveis de responderem à suplementação com fontes ricas em PNDR;
- a disponibilidade de PDR no rúmen deve ser adequada, a fim de não reduzir a síntese de proteína microbiana;
- a fonte de PNDR deve ter perfil de AAE, principalmente Lis e Met, de tal modo que melhore ou pelo menos que não piore a proporção destes dois aminoácidos na proteína que chega no intestino.

Bovinos de Corte

Suplementação protéica para bovinos em confinamento

Vinte e oito trabalhos de pesquisa sobre suplementação com fontes proteicas ou AAE para bovinos confinados na fase de crescimento e/ou terminação, publicados entre 1992 e 2004, no Brasil, Estados Unidos e Canadá, foram revisados e compilados por Santos (2005), conforme consta nas **Tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9**.

Animais em crescimento

a) Ureia x Fontes de proteína verdadeira

Foram compilados 9 experimentos com bovinos confinados na fase de crescimento (188 a

Tabela 3 – Comparação da produção de leite de vacas recebendo Farelo de Soja (rico em PDR) ou fontes ricas em PNDR com diferentes perfis de AA.

Fonte de PNDR ¹	Vacas (n°)	Com ou sem blocos ²	Tratamento		
			FS	Alta PNDR	P <
			----- Leite (kg/dia) -----		
FST3	641	+	34,23	34,91	0,032
		-	34,23	35,27	0,259
FP	662	+	31,27	32,09	0,010
		-	31,27	31,96	0,648
SBPA	725	+	34,07	33,76	0,343
		-	34,04	33,94	0,661
RUC e RD	334	+	31,45	31,76	0,341
		-	31,45	30,78	0,644
FGM-60	297	+	33,15	32,41	0,124
		-	33,15	32,32	0,550
FP vs, FGM-60	156	+	29,09 ⁴	28,01 ⁵	0,016
		-	29,09 ⁴	28,01 ⁵	0,661

1: FS = far. soja; FP = far. peixes; SBPA = subprodutos de origem animal; RUC = resíduo de cervejaria; RD = resíduo de destilaria; FGM-60 = farelo de glúten de milho 60; 2: Cada bloco representa uma comparação simples entre cada fonte de PNDR; a variância entre os blocos foi removida do erro na análise estatística dos dados. O número de comparações para cada fonte de PNDR foi: FST (trat. químico ou térmico) = 27; FP = 26; SBPA = 26; RUC e RD = 18; FGM-60 = 15; FP vs. FGM-60 = 7; 3: tratamento químico ou térmico.

430 kg de peso vivo) que compararam ureia com fontes de proteína verdadeira (**Tabela 4**).

As fontes de proteína verdadeira estudadas foram farelo de soja, farinha de peixes, farinha de sangue, farinha de penas, farinha de carne, farelo de glúten 60% (glutenose ou protenose) ou combinações dessas fontes. Em 8 experimentos, as rações continham entre 70 a 90% de concentrado na matéria seca e, em 1 experimento, o teor de concentrado na ração era de apenas 27%. O tratamento controle desses experimentos continha exclusivamente ureia como fonte de N, enquanto os demais tratamentos continham ou não ureia mais teores variáveis das fontes de proteína verdadeira. Em 4 dos 9 experimentos, a suplementação com fontes de proteína verdadeira aumentou, estatisticamente, o ganho de peso e a eficiência alimentar dos animais. Numericamente, o ganho de peso foi maior para as fontes de proteína verdadeira em 7 dos 9 experimentos. O consumo de matéria seca não foi afetado de forma consistente pela suplementação com proteína verdadeira. Os dados médios de desempenho para os nove experimentos são apresentados na **Tabela 5**.

b. Farelo de Soja x Fontes ricas em PNDR

Foram compilados 3 experimentos (**Tabela 6**) que compararam farelo de soja com fontes ricas em PNDR (farinha de peixes ou farinha de sangue) com rações contendo entre 40 e 60% de concentrado na matéria seca. Em apenas 1 dos 3 experimentos, a suplementação com fontes ricas em PNDR aumentou significativamente o ganho de peso e a eficiência alimentar.

c. Farelo de Soja x Soja grão integral

Em apenas um experimento revisado, foi comparado o farelo de soja com a soja grão integral para animais em crescimento (**Tabela 6**). Tanto o ganho de peso quanto a eficiência alimentar foram reduzidos com a substituição do farelo de soja por soja grão integral. Provavelmente, o suprimento de proteína metabolizável foi inferior para a ração com soja grão, o que limitou o desempenho dos animais na fase de crescimento.

Animais em terminação

a. Teores crescentes de ureia na ração

Foram compilados 8 experimentos (10 comparações) que estudaram os efeitos de teores crescentes de ureia na ração de bovinos confinados na fase de terminação, com peso vivo inicial ao redor de 330 kg e final de 530 kg (**Tabela**

7). Em todos os experimentos, as rações continham 90% de concentrado na matéria seca. Houve diferença no teor ideal de ureia na ração conforme o tipo de processamento do milho, principal ingrediente em 9 das 10 comparações. Quatro comparações utilizaram milho laminado a seco que, em termos de degradabilidade ruminal do amido, é comparável ao milho moído grosso. Outras 5 comparações utilizaram milho floculado. O milho floculado tem amido mais degradável e, portanto, maior valor energético que o milho laminado.

Por causa da menor degradabilidade ruminal do amido do milho laminado, os teores médios de ureia e, conseqüentemente, de proteína bruta da ração, requeridos para maximizar o desempenho animal (0,77% e 11,2% da MS, respectivamente) com esse tipo de grão, foram menores que para o milho floculado (1,3% e 13,54% da MS, respectivamente), conforme os dados médios apresentados nas **Tabelas 8 e 9**.

Em apenas uma das 10 comparações da **Tabela 7**, foi utilizado sorgo floculado como fonte de grão na ração. Para esse tipo de grão não houve resposta em desempenho animal com teores de ureia superiores a 1% na MS da ração.

b. Ureia x Fontes de proteína verdadeira

Foram compilados 9 experimentos que resultaram em 11 comparações entre ureia e fontes de proteína verdadeira para bovinos castrados, implantados com hormônios e confinados na fase de terminação (**Tabelas 10.1, 10.2, e 10.3**). As rações continham entre 85 e 90,4% de concentrado na MS. As fontes de proteína verdadeira utilizadas foram o farelo de soja, o farelo de algodão e fontes ricas em PNDR (farinha de peixes, farinha de sangue e farinha de penas).

O consumo de MS não foi diferente entre ureia e proteína verdadeira nas 11 comparações. O ganho de peso e a eficiência alimentar não diferiram em 10 e aumentaram em apenas uma comparação com a substituição total ou parcial da ureia por fontes de proteína verdadeira. Os dados médios dos 9 experimentos são apresentados na **Tabela 11**.

Com base nos dados da **Tabela 11**, pode-se concluir que, para animais confinados na fase de terminação, com rações com 85 a 90% de concentrado rico em milho ou sorgo, a ureia pode ser utilizada como única fonte suplementar de N

Tabela 4 – Ureia x Fontes de Proteína Verdadeira para bovinos confinados na fase de crescimento.

Fase	PVI	PVF	Volúmoso	%	Grão	Método	%	PB	%	U	%	FS	%	PNDR	Fonte	CMS	GPD	Eficiência	Fonte
C	232	326	FA + FG	82	Milho	Floculado	11	0,8	0	0	0	0	0	0	0	7,49a	1,69a	4,43b	Zinn et al., (1998)
							9,7	0	0	1,5				FP	6,63b	1,41c	4,69c		
							10,7	0	0	3				FP	6,9b	1,56b	4,43b		
							11,6	0	0	4,5				FP	6,9b	1,62a	4,27a		
							11	0	4,5	0				0	6,98b	1,56b	4,48b		
C	188	315	SM	27	Milho	Inteiro	7,9	0	0	0				0	5,15b	,43c	12,64b		Horton et al., (1992)
							10,3	1,09	0	0				0	6,16a	,88b	7,01a		
							10,6	0	9,03	0				0	6,42a	,97a	6,53a		
C	198	315	FA + FG	72	Milho	Floculado	12,2	0,5	0	0				0	6,81C	1,34Q	5,1Q		Zinn & Owens (1993)
							13,4	0,49	0	1,98				FC+FSg+FPn	7,11	1,52	4,66		
							14,6	0,48	0	3,84				FC+FSg+FPn	6,78	1,41	4,8		
							15,8	0,47	0	5,67				FC+FSg+FPn	6,84	1,39	4,93		
C	260	430	SS	90	Milho	Laminado	13	1,75	0	0				0	8,9	1,68	0,19		Ladely et al., (1995)
							14,2	1,75	0	1,5				FSg	8,56	1,65	0,196		
							14,2	1,75	0	2,16				GLUT	8,79	1,72	0,195		
C	240	354	SM	70	Milho	Moido	16	1,5	5,5	0				0	6,59	1,06b	6,22b		Cervieri et al., (2001)
							16	0,9	6,3	2,6				FSg	6,99	1,24a	5,65a		
							16	0,5	6,4	5,4				FSg	6,7	1,20ab	5,58a		
C	267	390	FA + SM	90	Milho	Laminado	13,25	1,52	0	0				0	8,53	1,48	0,174		Sindt et al., (1993)
							13,25	0	10,54	0				0	9,09	1,49	0,163		
							13,25	0,79	0	2,52				FSg	9,35	1,61	0,172		
							13,25	0,79	0	2,47				FPn	8,85	1,54	0,174		
C	286	410	FA + SM	90	Milho	Laminado	13,25	1,52	0	0				0	9,42	1,53	0,163		Sindt et al., (1993)
							13,25	0	10,54	0				0	9,82	1,66	0,169		
							13,25	0,79	0	2,52				FSg	9,65	1,7	0,176		
							13,25	0,79	0	2,47				FPn	9,16	1,65	0,18		
C	275	410	SM	85	Milho	Laminado	12	1,34	0	0				0	8,47	1,68	0,199		Sindt et al., (1993)
																			Efic, melhor para apenas nos 1 ^{os} 41 dias do experimento,
PNDR																			
C	122	390	FA + FG	88	Milho	Floculado	13,25	0	0	1,89				FPn + FSg	8,63	1,74	0,203		Zinn et al., (2000)
							12,5	1,35	0	0				0	5,09b	1,25b	,251b		
								0,44	0	4,15				FP	6,15a	1,63a	,274a		

FA = feno de alfafa; FG = feno de gramínea; SM = silagem de milho; SS = silagem de sorgo

Tabela 5 – Dados médios de desempenho dos 9 experimentos de crescimento.

	Ureia	Prot. verdadeira
CMS, kg	7,5	7,9
GPD, kg	1,40	1,52
GPD/CMS	0,187	0,193

sem efeito negativo no desempenho animal e com vantagens econômicas.

Em 2 estudos conduzidos no Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP, tourinhos Canchim e tourinhos Nelore, alimentados com rações com 84% e 92% de concentrado respectivamente, rico em polpa cítrica peletizada também não responderam à suplementação com farelo de soja em comparação com a ureia.

c. Farelo de Soja x Soja Grão e Soja Grão Tostada

Foram compilados 3 experimentos que compararam o farelo de soja com soja grão (2 experimentos) e com soja grão tostada (1 exp.) (**Tabela 12**).

O consumo de matéria seca foi menor para a soja grão em um dos dois experimentos e para a soja grão tostada em comparação ao farelo de soja. O ganho de peso não diferiu nos 3 experimentos e a eficiência alimentar foi melhorada pela soja grão em um experimento. Com base nesses dados, pode-se concluir que a soja grão ou a soja grão tostada podem substituir o farelo de soja para bovinos confinados na fase de terminação sem afetar negativamente o desempenho animal.

Balanceamento de aminoácidos

Conforme já discutido neste texto, os sistemas proteicos evoluíram do balanceamento em proteína bruta para sistemas mais precisos. Atualmente, todos os sistemas consideram a exigência da população microbiana do rúmen em PDR. Também consideram a necessidade de complementar quantitativamente a proteína microbiana que chega ao intestino com proteína de origem alimentar (PNDR), com o objetivo de suprir quantidade adequada de proteína metabolizável para animais de alto desempenho. Entretanto, conforme mostrado anteriormente, a suple-

mentação com fontes ricas em PNDR com perfil inadequado de Lis e de Met, não melhora o desempenho animal. O consenso atual é que, para otimizar a nutrição proteica de ruminantes, é necessário determinar com maior precisão as suas exigências em AAE e aprimorar as técnicas de formulação de rações para o correto balanceamento desses aminoácidos.

Atualmente, o sistema de Cornell (CNCPS), o NRC (2001) e alguns outros sistemas já permitem que se formulem rações com base no perfil de AAE na proteína metabolizável. Os resultados parecem promissores, especialmente para gado leiteiro, cujo grau de conhecimento nesse aspecto encontra-se mais adiantado que para gado de corte.

Tem sido demonstrado que existe uma proporção ideal dos dois aminoácidos mais limitantes Lis e Met, em relação ao total de AA. A relação entre esses 2 AAE também parece ser relevante. De acordo com o NRC (2001), a síntese de proteína do leite é maximizada quando os teores de Lis e Met na proteína metabolizável são de 7,2 e 2,4%, respectivamente. A relação ótima Lis:Met é ao redor de 3:1. Relações Lis:Met inferiores a 3:1 têm se mostrado prejudiciais ao desempenho de vacas leiteiras.

Conforme discutido anteriormente, a proteína microbiana tem qualidade superior à proteína das fontes comerciais utilizadas de modo geral. A proporção de Lis e Met na proteína microbiana é compatível com a necessidade para otimizar a resposta do animal. Entretanto, para vacas de alta produção, a proteína microbiana não é capaz de suprir toda a exigência em proteína metabolizável do animal. Nesse caso, a PNDR da ração passa a ter participação importante no total de proteína metabolizável. Porém o perfil de Lis e Met na proteína da quase totalidade das fontes comerciais é inadequado. Isso torna impossível balancear rações que resultem em 7,2% de Lis e 2,4% de Met na proteína metabolizável para animais de alta produção sem o uso de aminoácidos protegidos da degradação ruminal.

Com o objetivo de aprimorar o balanceamento destes dois AA na ração de vacas leiteiras, métodos de proteção da degradação ruminal desses AA têm sido desenvolvidos. Entretanto a tentativa de adicioná-los à ração para atingir 7,2% de Lis e 2,4% de Met na PM tem-se mostrado economicamente inviável tanto na América do Norte como na Europa.

Tabela 6 – Farelo de Soja x Fontes Ricas em PNDR ou grão de soja integral para bovinos confinados na fase de crescimento.

Fase	PVI	PVF	Volumoso	% Conc.	Grão	Método Processam.	% PB	% U	% FS	% PNDR	% Fonte	GPD	Eficiência	Fonte	
C	216	354	SM	60	Milho	Inteiro	14,1	0	11,3	0	0	NA	1,04	0,22	Comerford et al. 1992
							14,1	0	0	9,3	FP	NA	1,07	0,25	
C	270	354	SM	60	Milho	Inteiro	14,1	0	11,3	0	0	NA	1,4	0,24	Comerford et al. 1992
							14,1	0	0	9,3	FP	NA	1,68	0,26	
C	237	307	SM	40	Milho	Moído	12,8	0,4	5,57	0	0	5,71	1,13b	0,197b	Fluhaarty et al. 1994
							12,8	0,4	0	2,82	FSg	5,85	1,25a	0,212a	
C	207	410	SM	40	Milho	Moído	13	0	9,76	0	0	8,29a	1,34a	6,15a	Sampaio et al. 1998
							13	0	0	15,5	SG	6,80b	1,07b	6,35b	

SM = silagem de milho.

Tabela 7 – Teores de uréia na ração de bovinos em terminação.

Fase	PVI	PVF	Volumoso	% Conc.	Grão	Método Processam.	% PB	% U	% PDR	CMS	GPD	Eficiência	EGS	Fonte
	360	530	FA+SM	90	Milho	LS	8,9	0	4,2	11,58	1,43a	0,123a	9,1	Shain et al. (1998)
							11,11	0,88	6,4	11,88	1,54b	0,130b	9,3	
							12,62	1,34	8	11,64	1,5b	0,128b	9,3	
							14,13	1,96	9,5	11,78	1,55b	0,131b	9,6	
T	332	535	FG	90	Milho	LS	8,5	0	11,1C	11,1C	1,52Q	0,137Q	7,9L	Milton et al. (1997)
							9,9	0,5	10,5	10,5	1,6	0,153	9,1	
							11,3	1	10,9	10,9	1,65	0,152	11,7	
							12,6	1,5	10,7	10,7	1,58	0,148	12,7	
T	340	520	FA	90	Milho	LS	9,6	0	9,14Q	9,14Q	1,21Q	0,132Q	8,1C	Milton et al. (1997)
							10,6	0,35	9,015	9,015	1,27	0,14	7,9	
							11,5	0,7	9,32	9,32	1,39	0,139	10,2	
							12,4	1,05	9,5	9,5	1,29	0,129	11,14	
							13,1	1,4	8,78	8,78	1,22	0,122	7,4	
T	278		FA+CCA	90	Milho	LS	9,5	0	4,8	9,9L	1,54L	0,156	10,7	Cooper et al.(2002)
							10,9	0,5	6,3	9,6	1,64	0,171	11,4	
							12,4	1	7,8	10	1,54	0,154	11,4	
							13,8	1,5	9,2	10,6	1,8	0,169	13,5	

Tabela 7. Teores de uréia na ração de bovinos em terminação (continuação).

Fase	PVI	PVF	Volume	%	Grão	Método	%	PB	%	U	%	PDR	CMS	GPD	Eficiência	EGS	Fonte
T	355	FA+CCA	90	Conc.	Milho	F	Processam.	15,3	2	10,7	10,4	10,4	1,68	0,161	10,9	Cooper et al. (2002)	
								9,5	0	4,7	10,3Q	10,3Q	1,44Q	0,139	9,4Q		
								10,6	0,4	5,8	10,8	10,8	1,74	0,161	11,9		
								11,8	0,8	7	11	11	2	0,182	13		
								13	1,2	8,2	11	11	2	0,182	12,4		
								14,1	1,6	9,3	11,3	11,3	2,02	0,179	13		
								15,3	2	10,5	11	11	2,04	0,185	12,7		
T	278	FA +CCA	90	Conc.	Milho	F	Processam.	9,5	0	4,7	8,1Q	8,1Q	1,36Q	0,168	10,7	Cooper et al. (2002)	
								10,9	0,5	6,1	10,1	10,1	1,72	0,17	11,4		
								12,4	1	7,6	9,5	9,5	1,69	0,178	11,4		
								13,8	1,5	9	10	10	1,85	0,185	13,5		
								15,3	2	10,5	8,5	8,5	1,57	0,185	10,9		
T	330	FA	90,3	Conc.	Milho	F	Processam.	11,5	0,5	9,07Q	9,07Q	9,07Q	1,65Q	0,182	11	Gleghorn et al. (2004)	
								13	1,02	9,3	9,3	9,3	1,71	0,184	11,5		
								14,5	1,56	9,17	9,17	9,17	1,67	0,183	11,9		
T	378	FA + CCA	90	Conc.	Milho	SGU	Processam.	10,6	0	7	12,3	12,3	1,7L	0,138	8,9L	Cooper et al. (2002)	
								11,8	0,4	8,2	12,1	12,1	1,72	0,142	9,9		

Tabela 8 – Teor médio ótimo de uréia em rações com milho laminado (4 comparações).

Ureia %MS	PB MS %	CMS kg/cab.dia	GPD kg/cab	Eficiência GPD/CMS
0	9,13	10,43	1,43a	0,137
0,77*	11,2*	10,43*	1,55*	0,148*
1,22	12,5	10,46	1,48	0,139

Tabela 9 – Teor médio ótimo de uréia em rações com milho floculado (5 comparações).

Ureia %MS	PB MS %	CMS kg/cab.dia	GPD kg/cab	Eficiência GPD/CMS
0	9,80	10,30	1,55	0,151
0,5	11,14	10,33	1,67	0,164
0,9	12,40	10,58	1,78	0,169
1,3*	13,54*	10,46*	1,82*	0,175*
1,9	15,10	9,54	1,70	0,178

Nos estudos conduzidos nos Estados Unidos e França, têm sido mostrado que a suplementação com Lis e Met protegidas, para balancear esses AA em valores pouco abaixo do ótimo, no caso, em 6,6% de Lis e 2,2% de Met na PM, quando se utiliza o NRC (2001) ou 6,83% de Lis e 2,19% de Met na PM, quando se utiliza o sistema de Cornell (CNCPS), já é capaz de aumentar significativamente tanto a produção de leite quanto o teor de proteína do leite, de forma economicamente viável. Aumentos entre 0,1 a 3,9 kg de leite/vaca/dia (média de 1,7 kg) e de 0 a 0,29 unidades percentuais em proteína do leite (0,1 em média) têm sido obtidos quando os teores de Lis e Met na PM são balanceados. Essas respostas têm sido obtidas com reduções nos teores de proteína bruta da ração de até 1 unidade percentual.

Comercialmente, encontra-se disponível apenas a Met protegida. Porém, em virtude do seu custo elevado e a chance de rompimento da proteção quando é usada ração totalmente misturada, estudos têm sido conduzidos com um análogo da Met, o HMB. Entretanto, tem sido demonstrado que esse produto é altamente utilizado pelos microrganismos ruminais, sem que haja passagem efetiva para o sangue do animal. Já o HMBi, um isopropil do HMB, tem se mostrado capaz de ser absorvido pela parede do rúmen e convertido em Met nos rins, fígado e outros tecidos do animal. Maior produção de leite e/ou de proteína do leite têm sido relatadas em estudos recentes com vacas de alta produção.

Poucos trabalhos sobre balanceamento de

AAE têm sido conduzidos com bovinos de corte. Quatro experimentos compilados por Santos (2005) são apresentados na **Tabela 13**. Dois experimentos utilizaram animais que foram confinados durante a fase de crescimento até a terminação, enquanto os outros 2 experimentos utilizaram apenas animais na fase de terminação. A suplementação com Lis e Met protegidas da degradação ruminal melhorou o desempenho animal apenas na fase de crescimento. Durante a fase de terminação não houve efeito positivo da suplementação. Animais durante a fase de crescimento têm alta exigência em proteína metabolizável e AAE, em consequência da elevada formação de tecido muscular. Consequentemente, nessa fase as chances de resposta à suplementação com AAE são maiores que na fase de terminação, quando gordura, principalmente, está sendo depositada.

Literatura consultada

- AGRICULTURAL and FOOD RESEARCH COUNCIL. Technical Committee on Responses to Nutrients. Rep. No. 9: Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Protein. Nutrition Abstract Review Serie. B., 62:787, 1992.
- ARGYLE, J.L.; BALDWIN, R.L. Effects of amino acids and peptides on rúmen microbial growth yields. *Journal of Dairy Science*, 72:2017, 1989.
- BAKER, L.D.; FERGUSON, J.D.; CHALUPA, W. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 78:2424, 1995.
- BEEVER, D.E.; COTTRELL, B.R. Protein systems for feeding ruminant livestock: A European assessment. *Journal of Dairy Science*, 77:2031, 1994.
- BRODERICK, G.A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86:1370, 2003.
- BRODERICK, G.A. Reduced crude protein rations for high producing cows: production and environmental effects. *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. 2007. CD-ROM.
- CABRITA, A.R.J. *et al.* Effects of Dietary Protein and Starch on Intake, Milk Production, and Milk Fatty Acid Profiles of Dairy Cows Fed Corn Silage-Based Diets. *Journal of Dairy Science*, 90:1429, 2007.
- CANFIELD, R.W.; SNIFFEN, C.J.; BUTLER, W.R. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 73:2342, 1990.