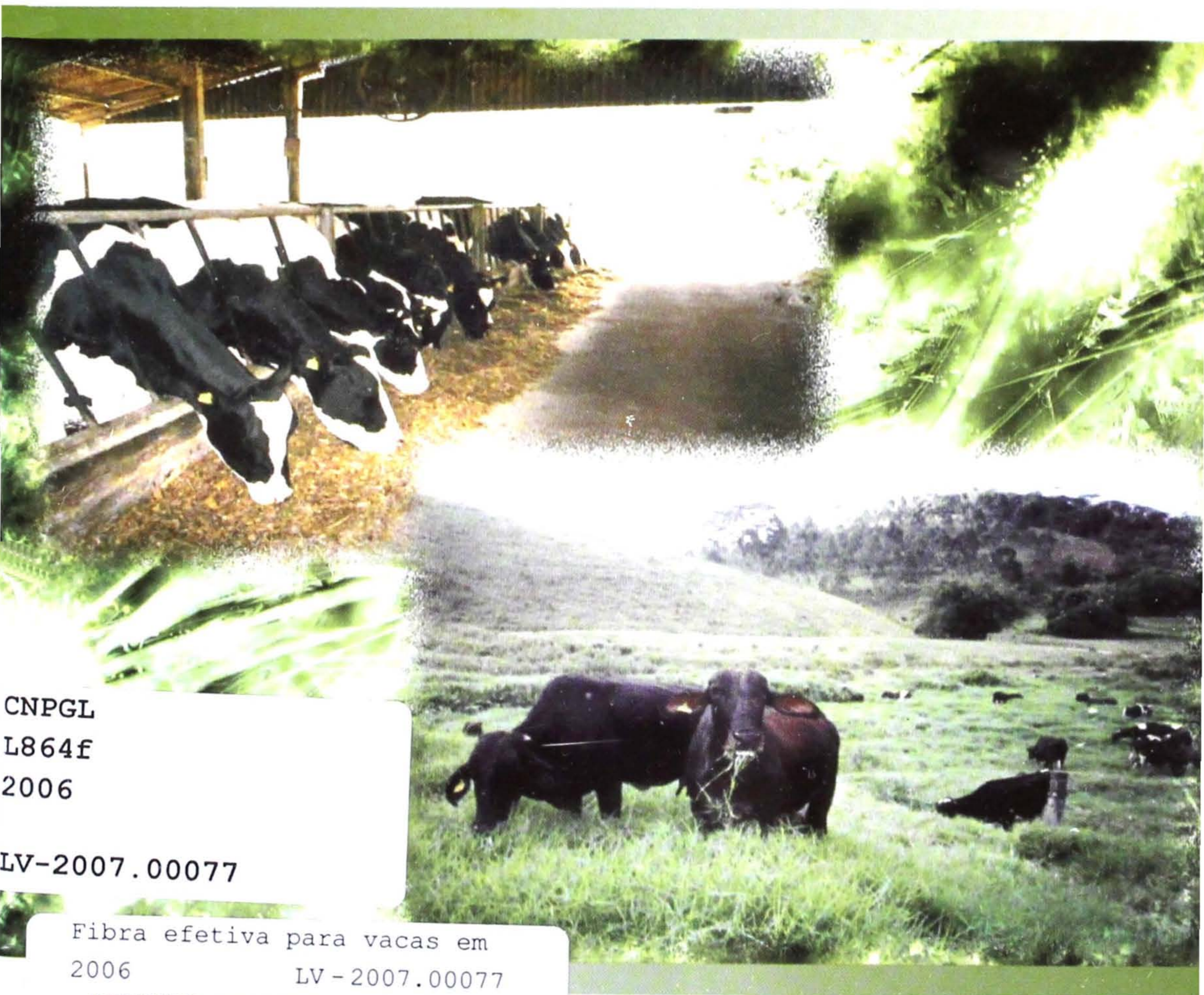


Fibra efetiva para vacas em lactação



CNPGL
L864f
2006

LV-2007.00077

Fibra efetiva para vacas em
2006 LV-2007.00077



37716-1



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1516-7453

Novembro, 2006

Documentos 114

Fibra efetiva para vacas em lactação

Fernando César Ferraz Lopes
Norberto Mario Rodriguez
Pedro Braga Arcuri
Jailton da Costa Carneiro
Ana Cristina Willye Elyas
Mirton José Frota Morenz

Edição comemorativa



Juiz de Fora, MG
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Leite

Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco

36038-330 Juiz de Fora – MG

Fone: (32)3249-4700

Fax: (32)3249-4751

Home page: <http://www.cnpgl.embrapa.br>

E-mail: sac@cnpgl.embrapa.br

Supervisão editorial: Fernando César Ferraz Lopes

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações: Leonardo Fonseca

Normalização bibliográfica: Inês Maria Rodrigues

Ilustração da capa: Marcella Fernandes Quintela Avila (estagiária)

1ª edição

1ª impressão (2006): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Gado de Leite

Fibra efetiva para vacas em lactação / Fernando César Ferraz Lopes ... [et al.]. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2006.

50 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 114).

ISSN 1516-7453

1. Análise de fibra. 2. Balanceamento de dieta. 3. Bovino. 4. Fibra em detergente neutro. 5. Fibra efetiva. 6. Nutrição de ruminantes. 7. Ruminante. 8. Vaca em lactação I. Fernando César Ferraz Lopes. II. Norberto Mario Rodrigues. III. Pedro Braga Arcuri. IV. Jailton da Costa Carneiro. V. Ana Cristina Willye Elyas. VI. Mirton José Frota Morenz. VII. Série.

CDD 636.2085

© Embrapa 2006

Autores

Fernando César Ferraz Lopes

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. – Embrapa Gado de Leite
Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
fernando@cnpagl.embrapa.br

Norberto Mario Rodriguez

Bioquímico, Ph.D. – Professor Titular do Departamento
de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade
Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627 – Caixa Postal 567 –
Campus da UFMG
30123-970 Belo Horizonte, MG
norberto@vet.ufmg.br

Pedro Braga Arcuri

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. – Embrapa Gado de Leite
Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
pba1@cnpagl.embrapa.br

Jailton da Costa Carneiro

Zootecnista, D.Sc. – Embrapa Gado de Leite
Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
jailton@cnpagl.embrapa.br

Ana Cristina Willye Elyas

Zootecnista, MS. – Aluna de Doutorado do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras
Campus Universitário – Caixa Postal 3.037
37200-000 Lavras, MG
anawyllie@hotmail.com

Mirton José Frota Morenz

Zootecnista, Dr. – Bolsista da Fapemig/Embrapa Gado de Leite
Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
mirtonmorenz@yahoo.com.br

Apresentação

Na atividade leiteira, os gastos com alimentação respondem por 40 a 60% dos custos de produção. Esta é uma das razões porque um dos temas mais demandados ao Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC) da Embrapa Gado de Leite seja concernente aos aspectos nutricionais e às práticas de manejo alimentar do gado leiteiro, destacando-se questionamentos referentes à utilização de pastagens, de forrageiras, de suplementos concentrados, e de subprodutos e resíduos da agroindústria na alimentação do rebanho.

No balanceamento de dietas para vacas leiteiras, os carboidratos contribuem com, aproximadamente, 70 a 80% da matéria seca das rações, enquanto proteínas, gorduras, minerais, vitaminas e aditivos respondem pelo restante.

Mas além de quantitativamente importantes na composição do custo de produção do leite, os carboidratos dietéticos, e de forma específica, as frações fibrosas presentes na parede celular das plantas forrageiras e nos suplementos utilizados nas rações, desempenham papel fundamental na manutenção da funcionalidade do rúmen e, por conseguinte, da saúde da vaca em lactação, com reflexos marcantes na produção e composição do leite, notadamente, sobre o teor de gordura. Este último aspecto influencia diretamente na remuneração do produtor rural, haja vista as penalizações praticadas sobre o preço pago pelo leite com baixo teor de gordura. Por outro lado, ressalte-se que bonificações concernentes ao pagamento diferenciado pelo leite com mais elevado teor de sólidos já é realidade em alguns laticínios e cooperativas implantadas no Brasil.

No entanto, a definição do requerimento de fibra necessário à manutenção do teor de gordura do leite, prescinde do conhecimento das múltiplas interações que ocorrem entre os ingredientes da dieta, de sua composição bromatológica e processamento prévio, principalmente, quanto ao tamanho de partículas, bem como do manejo alimentar e de características inerentes à própria vaca em lactação.

Neste contexto, o presente trabalho traz orientações técnicas referentes à aplicação do conceito de fibra efetiva no balanceamento de rações, visando à produção econômica do leite e de seus componentes nutritivos e, conseqüentemente, à maior remuneração e lucratividade do produtor de leite.

Paulo do Carmo Martins
Chefe-geral

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Introdução | 9 |
| Métodos analíticos e definições de fibra | 10 |
| Requerimentos de fibra para vacas em lactação | 15 |
| Sistemas para mensuração de fatores de efetividade da fibra | 24 |
| Valores de efetividade da FDN, segundo a metodologia de estimação | 40 |
| Conclusões | 42 |
| Referências bibliográficas | 44 |

Fibra efetiva para vacas em lactação

Fernando César Ferraz Lopes, Norberto Mario Rodriguez, Pedro Braga Arcuri, Jailton da Costa Carneiro, Ana Cristina Willye Elyas, Mirton José Frota Morenz

Introdução

O consumo adequado de fibra é essencial para maximizar a produção e saúde de vacas leiteiras. Quando excesso de fibra é incluído em uma ração, sua densidade energética torna-se baixa, seu consumo é reduzido, e a produtividade animal tende a diminuir. No entanto, quando níveis mínimos de fibra não são atendidos, ou ainda, são inadequados quanto ao tamanho de partículas da forragem, vários distúrbios metabólicos podem manifestar-se, como acidose, deslocamento de abomaso, depressão no teor de gordura do leite etc.

Desta forma, existe, para vacas leiteiras, uma concentração ótima de fibra dietética que maximiza o consumo de energia, a síntese de proteína microbiana e a produção de leite.

No entanto, a definição de requerimentos de fibra prescinde do conhecimento das múltiplas interações que ocorrem entre os componentes da dieta, bem como de seu modo de processamento e de distribuição (Varga et al., 1998).

A formulação de dietas baseadas na fibra em detergente neutro (FDN) como porcentagem da matéria seca (MS) da ração tem sido recomendada (NRC..., 2001), visando estimular a ruminação, o fluxo de saliva, o tamponamento ruminal, a saúde e a funcionalidade da parede do rúmen (Fox et al., 1992).

Entretanto, determinações químicas de fibra não são suficientes para balanceamento de dietas, haja vista que a FDN que é efetiva no atendimento de tais requerimentos

depende, principalmente, do tamanho de partículas (Lammers et al., 1996a), propriedade esta não quantificada nas análises químicas de FDN (Mertens, 1997).

Assim, Mertens (1997) recomendou que o estabelecimento de requerimentos de fibra para vacas em lactação deve ser baseado na concentração de FDN como medida química, mas ajustada por fatores de correção para a efetividade da FDN em estimular as atividades de mastigação e de ruminação, em manter a produção de gordura do leite e em otimizar a fermentação ruminal.

No entanto, a falta de métodos padronizados ou validados, para quantificar fibra efetiva de alimentos ou para estabelecer requerimentos, limita a aplicação deste conceito (NRC..., 2001).

Foi objetivo deste trabalho revisar as atuais recomendações de requerimentos de fibra, bem como as informações disponíveis com respeito à aplicação do conceito de fibra efetiva na formulação de dietas para vacas em lactação. Especial ênfase foi dedicada à discussão dos procedimentos metodológicos para mensuração de fatores de efetividade da fibra, destacando suas virtudes e principais deficiências ou limitações em disponibilizar informações que auxiliem no estabelecimento de recomendações mais pontuais com respeito aos requerimentos de FDN efetiva para vacas em lactação.

Métodos analíticos e definições de fibra

Considerações iniciais

A análise de fibra já faz parte da avaliação de alimentos há mais de cem anos (Van Soest, 1994). No entanto, ainda hoje, não existe consenso entre nutricionistas com respeito a uma definição uniforme para o termo (Weiss, 1993).

Uma das razões para isto diz respeito à existência de inúmeras metodologias e/ou específicas modificações destas (Van Soest et al., 1991; Mertens, 1992; Giger-Reverdin, 1995; Contreras Lara et al., 1999; Souza et al., 1999; Hall, 2000; Mertens, 2002; Ankom..., 2003), mas que, inevitavelmente, originam diferentes "tipos de fibra" (Weiss, 1993) e de terminologias para caracterizá-las (Udén et al., 2005). Adicionalmente, outra dimensão de complexidade advém da inerente característica de não-uniformidade da fibra do ponto de vista nutricional, químico ou físico (Van Soest et al., 1991).

Definições de fibra

De modo geral, a fibra tem sido definida como: 1) o componente estrutural das plantas; 2) a fração menos digestível do alimento; 3) a fração do alimento que não pode ser digerida pelas enzimas dos mamíferos; e 4) a fração do alimento que promove a ruminação e a saúde do rúmen (Weiss, 1993). Mas, segundo Mertens (1992, 1997, 2002), para fornecer informações nutricionais de fato relevantes, a fibra deveria incluir a fração indigestível ou lentamente digestível do alimento que ocupa espaço no trato gastrointestinal dos animais.

De modo subjetivo, o que se pode inferir é que a fibra é um termo exclusivamente nutricional e definido, na realidade, pelo método utilizado em seu isolamento (Mertens, 1992; Weiss, 1993).

Procedimentos analíticos para determinação de fibra: fibra bruta, fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro

Atualmente, vários são os procedimentos analíticos disponíveis para determinação da fração fibrosa dos alimentos (Mertens, 1992, 2002). Dentre estes, a fibra bruta (FB), fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN), destacam-se como metodologias de aplicação rotineira em laboratórios de análise de alimentos (NRC..., 2001). Entretanto, nenhum destes métodos atende às premissas teóricas ideais esperadas da análise de fibra (Weiss, 1993), além de não permitirem o isolamento de frações quimicamente uniformes (NRC..., 2001).

A análise de FB, há muito considerada obsoleta (Van Soest, 1994), envolve uma extração ácida (H_2SO_4 1,25%; 30 min), responsável pela remoção de amidos, açúcares, parte da pectina e da hemicelulose dos alimentos; além de uma extração básica (NaOH 1,25%; 30 min) que elimina proteínas, pectina e hemicelulose remanescentes, e parte da lignina (Mertens, 1992; Silva & Queiroz, 2002). Assim, a FB consiste tipicamente de celulose e de pequena quantidade de hemicelulose e lignina (Mertens, 1992). A inclusão na fração do extrato não-nitrogenado (sistema de *Wendee*) de componentes da parede celular solubilizados em diferentes proporções nas etapas da análise de FB compromete gravemente a técnica, impondo máximas restrições ao seu uso (Van Soest, 1994).

A concentração de FDA é determinada por refluxo (60 min) a quente de uma amostra em solução, contendo ácido (H_2SO_4 1N), para solubilizar açúcares, amidos, hemiceluloses e algumas pectinas; e detergente (Brometo-cetil-trimetil-

amônio) para remoção de proteínas (Mertens, 1992). Por este método, a celulose e lignina são quantitativamente recuperadas. O resíduo ainda contém variáveis quantidades de cinzas e de compostos nitrogenados constituintes da fibra (Weiss, 1993; NRC..., 2001). Segundo Mertens (1992), em verdade, este método foi desenvolvido como passo preparatório para análise de lignina, sem a prévia intenção de ser medida de fibra em alimentos.

A FDN é o método que de modo mais satisfatório separa carboidratos estruturais daqueles não-estruturais presentes nas plantas, isolando a maioria dos compostos químicos geralmente considerados constituintes da fibra (NRC..., 2001). Desde seu desenvolvimento, tal método foi extensivamente modificado (Mertens, 2002), razão pela qual Van Soest et al. (1991) propuseram termos para sua padronização e consideraram as publicações, com os procedimentos originais para determinação de FDN e de FDA obsoletas e apenas de interesse histórico. Em face da diversidade de combinações nas metodologias de determinação da fibra pelo sistema de detergentes, Udén et al. (2005) estabeleceram e propuseram critérios e terminologias para inequívoca caracterização do procedimento adotado na análise de FDN da amostra.

Basicamente, a análise de FDN de um alimento é feita por refluxo (60 min) a quente de uma amostra em solução tamponada (pH = 7,0) de detergente (Lauril sulfato de sódio), que é responsável pela remoção de açúcares, lípidos, alguma cinza, nitrogênio não-protéico e proteínas (Weiss, 1993). A interferência por metais pesados e/ou íons alcalinos é evitada pela inclusão de agente quelatante (Etileno-diamino-tetracético, EDTA), que auxilia na remoção de proteínas e de pectinas (Mertens, 1992, 2002). O método FDN recupera, quantitativamente, a celulose, a hemicelulose e a lignina, com variável contaminação por cinzas, amido, e proteína (Weiss, 1993). Uma modificação da técnica foi desenvolvida para permitir a determinação da FDN em todos os tipos de alimentos (Mertens, 1996), consistindo da adição de α -amilase termo estável e de sulfito de sódio, para obtenção de resíduo com mínima contaminação por amidos e proteínas (NRC..., 2001; Mertens, 2002).

Características físicas da fibra relacionadas à sua efetividade, e seus efeitos funcionais sobre o desempenho de vacas em lactação

Segundo Fox et al. (1992), quantidade adequada de fibra, considerada FDN dietética, é essencial para ruminação, fluxo de saliva, tamponamento ruminal,

saúde e funcionalidade da parede do rúmen. Além disso, em vacas em lactação, níveis apropriados de FDN são necessários para prevenir a depressão no teor de gordura do leite (Armentano & Pereira, 1997).

A FDN que é efetiva em atender tais requerimentos depende, principalmente, do tamanho de partículas (Lammers et al., 1996a). Segundo Mertens (1997), a FDN quantifica características químicas, mas não aquelas físicas da fibra, tais como tamanho de partículas e densidade. Assim, este autor propôs que o estabelecimento dos requerimentos de fibra de vacas em lactação não fosse baseado exclusivamente na FDN como medida de fibra química total nos alimentos. Ajustes por meio de fatores de correção para a efetividade da FDN em manter a produção de gordura do leite e em otimizar a fermentação ruminal, deveriam ser implementados. Estes estariam relacionados ao tamanho de partículas e às inerentes características da FDN, que afetam a atividade de mastigação, o pH ruminal, e a produção de gordura do leite.

Em excelente revisão de tese e, desta forma, merecedora de leitura aos interessados sobre o tema, Lima (2003) relatou que a efetividade da fibra nas forragens depende, principalmente, da fonte e/ou da composição da FDN, do tamanho de partículas e da capacidade de troca catiônica.

Fontes de fibra não-forrageira

Os subprodutos fibrosos de origem vegetal, que normalmente são obtidos após a extração de amidos, açúcares, óleos ou de outros constituintes de valor econômico, são generalizadamente denominados de fontes de fibra não-forrageira, e freqüentemente apresentam concentração de FDN semelhante à de forragens, diferindo, entretanto, em efetividade da fibra e na resposta quanto ao desempenho produtivo, quando fornecidos para ruminantes.

A maioria apresenta tamanhos de partículas característicos dos suplementos concentrados e, portanto, inferior ao das forragens, o que determina a menor efetividade da sua FDN em manter o pH e a porcentagem de gordura no leite (Kononoff, 2002). Neste sentido, o caroço de algodão constitui uma exceção, haja vista apresentar efetividade da FDN próxima à observada para forragens (Lima, 2003).

A alta densidade específica, associada ao pequeno tamanho de partículas e à elevada degradabilidade potencial da FDN das fontes de fibra não-forrageira

determinam que a sua taxa de passagem seja superior à de digestão (Firkins, 1997). Isto ocorre devido à sua menor probabilidade de entrelaçamento no *mat* ruminal, provocando redução de seu tempo de permanência no rúmen e, por conseguinte, com impacto negativo na sua digestibilidade e na atividade de mastigação (Kononoff, 2002). Este autor apresentou uma compilação de trabalhos publicados na literatura, demonstrando o efeito negativo da inclusão dietética das fontes de fibra não-forrageira sobre as atividades de mastigação e de ruminação, expressas tanto em min/dia, quanto em min/kg de FDN ingerida. Apesar disso, e desde que economicamente viáveis, constituem-se alternativas importantes como ingredientes para formulação de dietas para vacas em lactação (Pereira et al., 1999).

Conceitos de efetividade da fibra: FDN fisicamente efetiva e FDN efetiva

Mertens (1997) relatou que, embora a determinação da concentração de FDN possa ser considerada como de rotina, a efetividade da fibra tem sido definida sob diferentes formas. Segundo ele, tradicionalmente, as definições têm se referido à habilidade da fibra para manter a produção de gordura do leite e a saúde do animal - "efetivamente". Assim, na busca de definições mais pontuais, dois novos e distintos conceitos, que possibilitassem a introdução de um sistema para determinação de fibra efetiva em alimentos foram apresentados (Armentano & Pereira, 1997; Mertens, 1997): FDN fisicamente efetiva (FDN_{fe}) e FDN efetiva (FDN_e).

O primeiro termo (FDN_{fe}) refere-se especificamente às características físicas da fibra (principalmente, tamanho de partículas) que influenciam a atividade de mastigação e a natureza bifásica dos conteúdos ruminais (Mertens, 1997). Em termos práticos, é o produto do fator de efetividade física (fef) pela porcentagem de FDN ($FDN_{fe} = fef * \%FDN$), obtida da análise química de um alimento (Armentano & Pereira, 1997; Mertens, 1997).

Por outro lado, a FDN_e está relacionada ao somatório das habilidades totais de um alimento em substituir a forragem e/ou volumoso na ração, tanto que a porcentagem de gordura do leite produzido por vacas consumindo tal dieta, é efetivamente mantida (Mertens, 1997). Por definição, fatores de efetividade (fe) para FDN podem variar de zero, quando um alimento não tem habilidade para manter o teor de gordura do leite, para valores maiores que um, quando um alimento mantém a porcentagem de gordura do leite mais efetivamente do que o faz a atividade de mastigação (Mertens, 1997).

Haja vista que a FDN_0 inclui todos os efeitos associados à FDN_{60} , além de fatores adicionais que auxiliam na manutenção da porcentagem de gordura do leite, deve-se esperar que o fe para FDN seja maior do que fe para a maioria dos alimentos (Mertens, 1997). Mertens (2001) discutiu que os efeitos adicionais parcialmente incluídos na FDN_0 que afetam a síntese de gordura do leite envolvem características dos alimentos associadas com intrínseca capacidade de tamponamento ou de neutralização dos ácidos da fermentação; concentração e composição da gordura; teores de proteínas solúveis e carboidratos; e proporções molares e concentrações de ácidos graxos voláteis (AGV).

Requerimentos de fibra para vacas em lactação

Importância nutricional e econômica da fibra e da efetividade da fibra em dietas para vacas em lactação

Segundo Allen (1995), a preparação do nível ótimo de fibra para dietas de gado leiteiro requer a consideração de que vários fatores interagem para, significativamente, afetar o consumo de energia e o desempenho animal. Fibra efetiva adequada deveria ser fornecida para permitir ao animal maximizar a fermentação ruminal de carboidratos e, concomitantemente, manter um adequado pH no rúmen. Do emprego de tal estratégia, seria esperado aumento na eficiência de fermentação, na produção de proteína microbiana e na ingestão de energia, resultando em acréscimos na produção de leite e decréscimos nos custos da ração.

Matos (1997) relatou que a fibra dietética é importante e necessária para manter o balanço adequado da fermentação no rúmen, prevenindo quedas no seu pH e depressão no teor de gordura do leite. Segundo este autor, a fibra na forma longa estimula o fluxo de saliva, a mistura da digesta no rúmen e a capacidade tamponante do conteúdo ruminal, sendo a FDN, por suas características intrínsecas, responsável direta por porção significativa deste tamponamento. Pelos efeitos sobre o consumo, ruminação, depressão da digestibilidade, capacidade tampão e funcionamento normal do rúmen, é de esperar que os requerimentos de fibra dos ruminantes devam ser expressos em FDN, e não em FDA ou FB.

Fatores que influenciam no estabelecimento dos requerimentos de fibra e de fibra efetiva para vacas em lactação

Segundo Fox & Tedeschi (2004), para estabelecimento dos requerimentos de fibra dietética para atingir determinado desempenho animal, diversas variáveis

deveriam ser consideradas, tais como, o nível de consumo de carboidratos estruturais e não-estruturais, e suas respectivas taxas de degradação e de passagem; os efeitos do consumo de fibra e do tamanho de partículas sobre a ruminação e o pH ruminal; os requerimentos nitrogenados e a produção dos microrganismos ruminais; a digestão intestinal; e os requerimentos dos tecidos do hospedeiro.

Varga & Kolver (1997) relataram que não somente o tamanho de partículas tem efeito sobre a efetividade da FDN, mas também a lignificação da fibra, o grau de hidratação e a densidade.

Recomendações de requerimentos de fibra e de fibra efetiva para vacas em lactação, segundo o NRC... (1989, 2001)

As recomendações do NRC... (1989) para requerimentos de fibra foram baseadas na porcentagem de gordura do leite como variável de resposta animal. Os níveis mínimos recomendados para vacas em lactação situaram-se na faixa de 19 a 21% de FDA e de 25 a 28% de FDN na MS total da ração. Segundo Weiss (1993), na prática, o sistema NRC... (1989) tem como principais deficiências não considerar o tamanho de partículas, nem as fontes dietéticas de FDN e de amido. Weiss (1993) classificou como bastante conservadora a recomendação de que 75% da FDN dietética fosse oriunda de forragem (NRC..., 1989), por subestimar o valor da fibra de fontes não-forrageiras (Abel, 1995; Pereira et al., 1999; Lima, 2003).

Pelas atuais recomendações de requerimentos dietéticos de FDN para vacas em lactação do NRC... (2001), percebe-se que houve preocupação na correção de algumas daquelas deficiências apontadas por Weiss (1993). No entanto, a introdução de efetivos avanços foi tímida, em face das lacunas ou da insuficiência de informações/dados em específicas áreas do conhecimento científico. As recomendações vigentes (NRC..., 2001) foram feitas com base em dietas fornecidas como misturas completas (*total mixed ration, TMR*), contendo silagens de alfafa ou de milho com adequado tamanho de partículas como principais volumosos, e grãos de milho moídos como predominante fonte de amido. Sob estas situações de alimentação extremamente específicas, uma concentração mínima de 25% de FDN na dieta foi recomendada, mas condicionada a 19% da FDN total ser oriunda de forragem. Proporcionalmente, isto representa 76%, estando próximo àquele valor recomendado no NRC... (1989), com um diferencial de não ser uma proporção fixa.

Baseado em três trabalhos científicos, o NRC... (2001), subjetivamente, considerou que a FDN de fontes de fibra não-forrageira, à exceção do caroço de algodão, era, em média, 50% tão efetiva quanto à FDN da forragem em manter a porcentagem de gordura do leite. Com base nesta informação, para cada uma unidade porcentual de decréscimo na FDN da forragem (% da MS da dieta) abaixo de 19%, o NRC... (2001) recomendou incrementos ou decréscimos da ordem de duas unidades porcentuais, respectivamente, para a concentração dietética mínima de FDN total (25%) e aquela máxima (44%) de carboidratos não-fibrosos ($100 - \%FDN - \%PB - \%gordura - \%cinzas$). As recomendações mínimas finais (% da MS da dieta) variaram de 25 a 33%; 19 a 15%; e 17 a 21%, respectivamente para FDN total; FDN oriunda da forragem; e FDA total.

O NRC... (2001) fez sugestões para ajustes dos requerimentos de FDN com relação a específicas fontes de amido. No entanto, discutiu, mas não apresentou ajustes com relação ao tamanho de partículas da forragem e, da mesma forma, para requerimentos de FDN efetiva, sendo apenas sugerido que se o tamanho médio de partículas da forragem for menor que 3 mm, a concentração dietética de FDN deve ser incrementada em algumas unidades porcentuais. As razões para essa indefinição foram atribuídas, principalmente, às lacunas no conhecimento das bases conceituais ou à insuficiência de dados acerca dos referidos temas. Pelo mesmo motivo, recomendações de teores de FDN em dietas para vacas sob pastejo não foram feitas e aquelas, anteriormente apresentadas (NRC..., 1989), podem não ser as mais adequadas, segundo o NRC... (2001). Algumas recomendações foram fornecidas com relação à utilização de tampões dietéticos e de acordo com o sistema e a frequência de alimentação adotados.

Recomendações de requerimentos de fibra e de fibra efetiva para vacas em lactação, segundo o "Cornell Net Carbohydrate and Protein System" – CNCPS

Em específicas equações do modelo *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* – CNCPS (Fox et al., 1992; Russel et al., 1992; Sniffen et al., 1992; Fox et al., 2000, 2003, 2004), vários ajustes dos requerimentos de FDN foram implementados com respeito à sua efetividade em estimular a ruminação e a motilidade ruminal (Fox et al., 1995; Fox et al., 2000, 2003, 2004). Os requerimentos de FDN_e do CNCPS para vacas em lactação, anteriormente (versão 4.0) considerados ser de 20% (Fox et al., 1992, 2000) foram, na versão 5.0 do CNCPS (Fox et al., 2003), elevados para 21 a 23% de FDN_e da MS da dieta. Entretanto, se o objetivo da estratégia de alimentação for o de maximizar a

digestibilidade da parede celular para otimizar a utilização de forragem, o requerimento foi sugerido ser de, no mínimo, de 20% de FDN_{1e} na MS da dieta (Fox et al., 2003; Fox & Tedeschi, 2004).

Por outro lado, quando a FDN oriunda da forragem for inferior a 20% da MS da dieta, a produção microbiana é reduzida em cerca de 2,5% para cada 1% de decréscimo no teor de FDN (Fox et al., 2000, 2003). Se a FDN da dieta advém de alimentos finamente picados, o ajuste na produção microbiana pode ser, arbitrariamente, de 3% para cada unidade de decréscimo de FDN (Russel et al., 1992). Desta forma, o teor de FDN efetiva na dieta é utilizado para, indiretamente, prever o pH ruminal, ajustando a produção microbiana às variações do mesmo (Russel et al., 1992; Fox et al., 2000, 2003, 2004; Fox & Tedeschi, 2004). As predições do CNCPS para taxa de passagem de alimentos no rúmen são igualmente bastante sensíveis aos valores utilizados de FDN efetiva (Fox et al., 1995, 2000, 2003, 2004; Fox & Tedeschi, 2004). Assim, ajustes para taxa de passagem em função do tamanho de partícula foram sugeridos por meio de valores tabelados de FDN efetiva para diversos alimentos (Fox et al., 1992).

Na versão 5.0 do CNCPS, a porcentagem da FDN retida em peneira com abertura de malhas de 1,18 mm, após peneiragem a seco, é o procedimento para determinação da FDN_{1e} (Fox et al., 2003), e segundo estes autores, por esta razão, os valores de FDN_e nas versões anteriores do CNCPS (Fox et al., 2000), são mais corretamente definidos como FDN_{1e} .

Fox et al. (1995) relataram a inclusão no CNCPS da predição do pH ruminal a partir de valores tabelados de FDN_e (Fox et al., 1992). Eles discutiram que em dietas com um mínimo de 20% de FDN_e , o pH predito foi $\geq 6,2$, com nenhum efeito negativo sobre a digestão ruminal da fibra. Entretanto, quedas nas taxas de digestão da fibra foram observadas à medida que as concentrações dietéticas de FDN_e apresentaram-se abaixo de 20%, atingindo zero em teores de FDN_e de 5%. Conforme relataram Fox & Tedeschi (2004), a equação desenvolvida por Pitt et al. (1996) para predição de pH ruminal apresenta simplicidade e flexibilidade na aplicação, sendo por isso adotada no CNCPS versão 5.0 (Fox et al., 2003) para dietas com concentrações de FDN_e inferiores a 24,5%. No entanto, em concentrações dietéticas de FDN_e superiores a esta, o pH ruminal é mantido em 6,46 (Fox et al., 2003).

Segundo Fox & Tedeschi (2004), a versão atual do CNCPS (5.0) pode ser utilizada para avaliar a adequabilidade da concentração dietética de FDN_{1e} . No

entanto, não considera os efeitos de importantes variáveis sobre a concentração de AGVs e, por conseguinte, sobre o pH ruminal, tais como consumo de amido, frequência de alimentação e taxa de passagem da fase líquida. Para responder por estes efeitos, um novo submodelo ruminal dinâmico vem sendo desenvolvido para incorporação em versão futura no CNCPS. Isto o capacitará a avaliar a influência sobre o pH ruminal de aspectos relacionados ao nível de fibra da ração, ao processamento de ingredientes dietéticos e às estratégias de alimentação, visando maximizar a utilização dos componentes da dieta pelos microrganismos ruminais, assim como da energia disponível para produção animal.

No CNCPS várias equações foram propostas, visando à estimativa da capacidade ruminal de FDN₆ como porcentagem do peso vivo, de acordo com os estádios de lactação e de gestação (Fox et al., 1992). Neste sentido, Varga et al. (1998), sumarizando dados da literatura, apresentaram recomendações para consumo de FDN de forragem na faixa de 0,75 a 1,20% do peso vivo. O valor máximo de consumo desta faixa foi aquele ($1,2 \pm 0,1\%$) indicado por Mertens (1987, 1992) para vacas nos terços finais da lactação, em dietas com concentrações ótimas de FDN, que maximizassem a produção de leite corrigida para 4% de gordura. Entretanto, considerando forrageiras de clima tropical, consumos de FDN bem superiores a este foram relatados para vacas em lactação (Geerken et al., 1987; Traxler, 1997; Lopes et al., 2004).

Considerações e recomendações de requerimentos de fibra e/ou de fibra efetiva para vacas em lactação, segundo vários autores

Segundo Allen (1995), em função da vaca ou do grupo de vacas, dos ingredientes dietéticos disponíveis e do sistema de alimentação adotado, o nível ótimo de FDN que irá maximizar a ingestão de energia para vacas no início da lactação situa-se na faixa de 25 a 35% da MS. Este autor propôs um conjunto de ajustes (Tabela 1) do teor de FDN da dieta a partir do ponto intermediário de 30%, levando em consideração vários fatores principais (Fig. 1), que afetam o conteúdo ótimo de FDN na ração. Entretanto, alertou que o grau de acerto nos ajustes estará sempre vinculado a um satisfatório embasamento nutricional do técnico encarregado da formulação da dieta, com refinamentos somente possíveis pela experiência e prática. Ainda segundo aquele autor, adicionais ajustes poderão ser, eventualmente, necessários, haja vista que os diferentes fatores (Tabela 1) não são aditivos. Entretanto, advertiu que a subtração ou a adição líquidas não

devem exceder a cinco unidades percentuais de FDN (% da MS da dieta), sempre respeitando a faixa ótima de 25 a 35%.

Tabela 1. Níveis de ajuste nas concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) da dieta, a partir de um valor intermediário de 30%, visando ao máximo consumo de energia (vacas de alta produção no início da lactação)¹.

| Fatores influenciando o nível ótimo de FDN na dieta | Ajustes nos níveis de FDN a partir de concentração intermediária de 30% na MS da dieta | | | Observações |
|---|--|--|--|---|
| | Sem ajuste | Acréscimos ² | Decréscimos ² | |
| Tamanho das partículas | Silagem com 5-10% de partículas > 3,8 mm | (2) forragem com poucas partículas longas (> 3,8 mm) ou (até 4) silagem finamente picada sem partículas longas | (2) silagem com partículas > 3,8 mm | |
| Uso de subprodutos | Dieta não contém subprodutos com alta fibra (menor ajuste para caroço de algodão) | (até 2) dieta com inclusão de subprodutos de alta fibra (10% da MS) com pequeno tamanho de partículas | | Limitar a combinação de forragens peletizadas e subprodutos de alta fibra para, no máximo, 30% dos requerimentos de fibra |
| Freqüência de fornecimento de grãos | Grãos fornecidos separadamente; três vezes ao dia | (1,5) grãos fornecidos duas vezes ao dia ou menos | (1,5) grãos fornecidos quatro ou mais vezes ao dia | |
| Digestibilidade ruminal do amido | 75 a 80% do amido é digerido ruminalmente | (até 2) acima de 80% de digestão ruminal do amido | (até 2) 65 a 75% do amido é digerido ruminalmente | Evitar digestão do amido < 65%. |
| Uso de tampões | Dieta não suplementada com tampões | | (1) dieta suplementada com 0,5 a 1% de tampões na MS | |
| Digestibilidade da fibra | Forragens com digestibilidades médias | (até 2) forragens imaturas, com alta digestibilidade da FDN | | |
| Gordura suplementar | Dieta sem gordura suplementar | | (1) dieta com 2 a 3% de gordura suplementar na MS | |
| Misturas completas (TMR) | | (até 3 ou mais) teores de MS da silagem ou de FDN da forragem são variáveis | | |

¹ Adaptado de Allen (1995).

² Entre parênteses, os valores, em unidades percentuais, a serem ajustados a partir de uma concentração intermediária de 30% de FDN na MS da dieta.

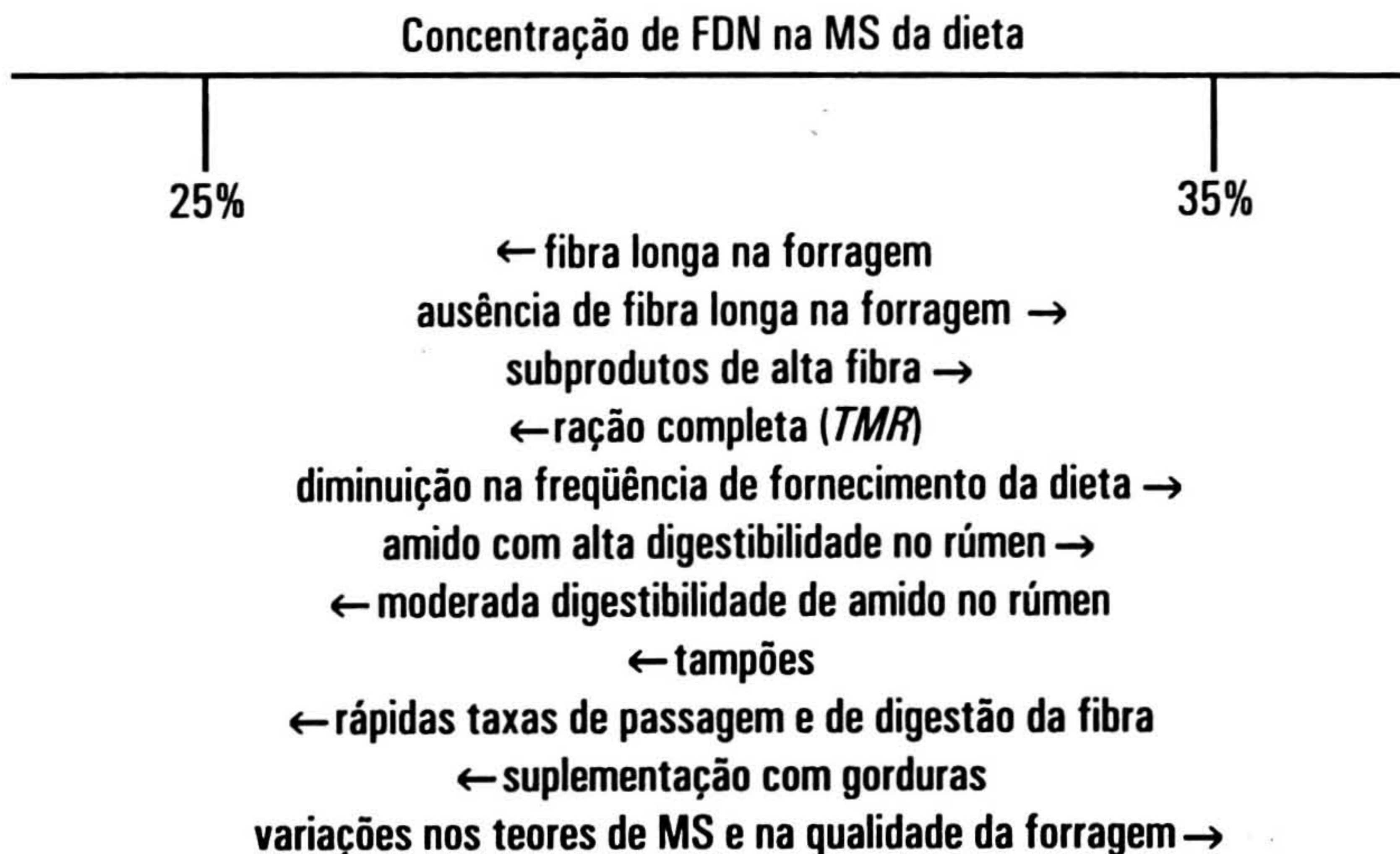


Fig. 1. Principais fatores que influenciam o nível ótimo de fibra em detergente neutro (FDN) para maximizar consumo de vacas de alta produção no início da lactação (Adaptado de Allen, 1995).

Para vacas de alta produção no terço médio da lactação (10 a 26 semanas), Kawas et al. (1991) sugeriram que os níveis de FDN e de FDA, respectivamente, menores que 29 e 20% em dietas à base de feno de alfafa, foram requeridos para produção de 35 kg de leite corrigido para 4% de gordura e para manutenção do balanço energético positivo. Para vacas no final da lactação, produzindo 16 a 24 kg de leite corrigido para 4% de gordura, concentrações dietéticas de 34 a 38% de FDN na MS foram sugeridas (Mertens, 1987).

Recomendações de requerimentos de fibra para vacas em lactação, em função do nível de produção de leite, considerando a suplementação de concentrados com baixos teores de FDN, foram feitas por Heinrichs (1996). Este autor sugeriu consumos totais de FDN (% da MS da dieta), de 28 a 32%; 33 a 37%; e de 38 a 42%, respectivamente para alta (> 36,3 kg/dia); média (27,2 a 36,3 kg/dia) ou baixa (< 27,2 kg/dia) produção de leite. Os respectivos níveis de consumo recomendados para a FDN oriunda da forragem (% da MS) foram: 21 a 27%; 25 a 32%; e 29 a 36%.

Mertens (1997) propôs valores de fef para vários alimentos e utilizou-os para estabelecimento de requerimentos de FDN_{16} necessários à obtenção de desejado desempenho do animal. Segundo este autor, aproximadamente 19,7% de FDN_{16} (% da MS da dieta) foram necessários à manutenção de 3,4% de gordura no

leite de vacas nos terços iniciais da lactação; e cerca de 22,3% de FDN₁₆ para manter um pH ruminal médio de 6,0. As diferenças entre concentrações de FDN₁₆ em função da resposta animal adotada indicaram dificuldades inerentes à definição de requerimento absoluto para fibra.

Mertens (2001) sugeriu que dietas formuladas para 21% de FDN₁₆ (% da MS) não deveriam ser fornecidas para vacas leiteiras por períodos prolongados de tempo. Este autor discutiu que dietas contendo combinações de forragens e de subprodutos como fontes de fibra não-forrageira, por provocarem a diluição dos teores de carboidratos não-estruturais, permitem a formulação de requerimentos mínimos de FDN₁₆. Entretanto, Mertens (1997) alertou para a necessidade de estudos para determinar se os requerimentos de FDN₁₆ para saúde da vaca e para longevidade são diferentes daqueles para manutenção da porcentagem de gordura do leite ou pH ruminal. Para tanto, experimentos de longa duração deveriam ser conduzidos, visando a consistente avaliação do impacto econômico e dos efeitos à saúde do animal, quando da adoção de estratégias de alimentação, utilizando fontes de fibra não-forrageira para cobrir parte dos requerimentos de fibra dietética (Swain & Armentano, 1994; Depies & Armentano, 1995). Neste sentido, Soita et al. (2000) relataram que a diminuição no comprimento de corte da silagem de aveia reduziu a atividade de mastigação das vacas, mas não afetou a porcentagem de gordura do leite. Estes autores concluíram que os níveis mínimos requeridos de fibra para manutenção da porcentagem de gordura do leite são diferentes daqueles necessários para manter a saúde e a funcionalidade do rúmen.

Por outro lado, Pereira et al. (1999), em experimento com 112 dias de duração, não observaram grandes alterações na saúde das vacas que receberam dietas com baixa quantidade de FDN de forragens (12,7% da MS), mas com concentrações elevadas de FDN total (33,4% da MS) advinda, principalmente, da contribuição de fontes de fibra não-forrageira. Os autores relataram que as vacas adaptam-se mais facilmente a este tipo de dieta do que àquelas baseadas em baixa quantidade de FDN de forragens (12,6% da MS), mas com elevadas concentrações de carboidratos não-fibrosos (52% da MS). Pereira et al. (1999) concluíram que dietas com baixa quantidade de FDN de forragens, mas com a inclusão das fontes de fibra não-forrageira (18% da MS) podem ser alternativas economicamente viáveis para produção de leite.

Allen (1997) discutiu que os requerimentos de fibra para gado leiteiro deveriam ser determinados por considerar a efetividade física da FDN e a produção de

ácidos da fermentação. Segundo este autor, o balanço entre a produção de ácidos decorrente da fermentação e a secreção de tampões é o principal determinante do pH ruminal. Allen (1997) ainda relatou que dietas deveriam ser formuladas, visando à manutenção de adequado pH ruminal, e que variações neste parâmetro deveriam ser minimizadas, por meio de apropriadas práticas de manejo nutricional. Embora o fluxo de saliva seja necessário para neutralizar os ácidos da fermentação, diferenças entre dietas na porcentagem de matéria orgânica degradável no rúmen poderiam ser fator individual importante, influenciando o pH ruminal. Além disso, afetam diretamente a quantidade de FDN_{16} requerida para manutenção do pH ruminal. Quanto à fibra, Allen (1997) discutiu que esta exerce sua influência no pH ruminal, aumentando, via efeito de mastigação, o fluxo de saliva e, ainda, diluindo os componentes mais fermentáveis da dieta.

Outro aspecto abordado por Allen (1997) referiu-se à remoção dos ácidos de fermentação, que é feita por absorção através da parede do rúmen ou por passagem para o orifício omasal. Entretanto, ocorrem flutuações no pH ruminal em decorrência das taxas de absorção dos AGV, superfície de área para absorção, taxa de passagem da fase líquida, fluxo de água no rúmen ou por meio de sua mucosa, padrões de refeição e taxas de passagem e de digestão da matéria orgânica.

Embora os íons H^+ produzidos no rúmen sejam rapidamente removidos por absorção como AGV, aqueles remanescentes devem ser removidos da solução para manter o pH fisiológico neste órgão. Isto é feito por alcalinização e tamponamento (saliva, alimentos, produtos da degradação de alimentos). A predição do *pool* de H^+ no rúmen requer métodos iterativos, haja vista a principal rota de remoção dos H^+ ser por absorção de AGV via parede ruminal, cuja taxa é dependente de pH (Allen, 1997).

A saliva é o mais importante mecanismo de remoção de H^+ da solução. Ela contém íons bicarbonato e fosfato que removem íons H^+ por combinação de processos de alcalinização e de tamponamento. O fluxo de saliva tamponante varia de acordo com a atividade de mastigação, sendo função dos tempos parcialmente gastos com descanso, ingestão e ruminação, e suas respectivas taxas de produção. Todos estes e muitos outros aspectos discutidos por Allen (1997) foram incorporados, na medida do possível, em várias equações empíricas para predição do pH ruminal; produção de ácidos da fermentação;

fluxo de saliva tamponante; tempo total de mastigação e aquele gasto com ruminação. Adicionalmente, baseando-se em algumas porcentagens estimadas para remoção de íons H^+ do rúmen por várias rotas, Allen (1997) apresentou um complexo sistema de monitoramento de variações no pH ruminal, baseado, principalmente, na efetividade física da FDN, na produção de ácidos da fermentação; e na secreção de tampões, com objetivo final de determinação de requerimentos de fibra para vacas em lactação.

Sistemas para mensuração de fatores de efetividade da fibra

Considerações iniciais: respostas fisiológicas de vacas em lactação às concentrações dietéticas de fibra e de fibra efetiva

Diferenças na quantidade e nas propriedades físicas da fibra podem afetar a utilização da dieta e, por conseguinte, o desempenho do animal.

Quando excesso de fibra é incluído em uma ração, sua densidade energética torna-se baixa, seu consumo é reduzido, e a produtividade animal tende a diminuir.

Por outro lado, da inclusão de insuficiente nível dietético de fibra, uma infinidade de sintomas pode-se manifestar, desde alterações na fermentação ruminal, até severa acidose, que em casos extremos, pode induzir o animal à morte. A incidência de distúrbios metabólicos como deslocamento de abomaso, paraqueratose ruminal, abscessos hepáticos, e laminite crônica tem sido também associada ao suprimento dietético inadequado de partículas longas de fibra (Buckmaster, 2000). Entretanto, segundo Mertens (1997), os efeitos decorrentes das dificuldades de detecção de alterações na fermentação ruminal, originando acidose subclínica, podem ter impactos econômicos mais graves sobre a produção leiteira.

A cascata de eventos responsável por decréscimos no desempenho animal, quando dietas com pouca fibra efetiva são formuladas e fornecidas para vacas em lactação, inclui reduções na atividade de mastigação, com conseqüente menor secreção de saliva tamponante. Isto leva à diminuição no pH ruminal e às alterações nos padrões de fermentação neste órgão. O estreitamento da relação acetato/propionato provoca modificações no metabolismo animal, que convergem para depressões, de magnitude variada, na síntese de gordura do leite (Mertens, 1997).

Na Tabela 2, Mertens (2001) resumiu respostas fisiológicas típicas, decorrentes das variações nas proporções de forragem de fibra longa na ração de vacas leiteiras, bem como nas concentrações dietéticas de FDN e de FDN_{fe}.

Tabela 2. Respostas fisiológicas típicas de vacas leiteiras, decorrentes das variações nas proporções de forragem de fibra longa e das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) e de FDN fisicamente efetiva (FDN_{fe}) na dieta¹.

| Variável | % de feno de gramínea com fibra longa na dieta de vacas leiteiras | | | | | |
|---|---|-------|-----|-----|-----|-----|
| | 100 | 80 | 60 | 40 | 20 | 0 |
| Fibra em detergente neutro (FDN) na dieta (%) | 70 | 59 | 48 | 36 | 25 | 14 |
| FDN fisicamente efetiva na dieta (%) | 70 | 57 | 44 | 32 | 18 | 6 |
| Tempo de mastigação (min/dia) | 1.080 | 1.040 | 970 | 820 | 520 | 320 |
| Secreção de saliva (L/dia) | 200 | 196 | 189 | 174 | 143 | 123 |
| Bicarbonato salivar (kg/dia) | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 1,8 | 1,5 |
| pH ruminal | 6,8 | 6,7 | 6,5 | 6,2 | 5,8 | 5,0 |
| Ácidos graxos voláteis no rúmen (mM) | 85 | 95 | 105 | 115 | 125 | 135 |
| Acetato ruminal (% molar) | 70 | 66 | 61 | 55 | 48 | 40 |
| Propionato ruminal (% molar) | 15 | 18 | 22 | 27 | 33 | 40 |
| Relação acetato:propionato | 4,7 | 3,7 | 2,8 | 2,0 | 1,4 | 1,0 |
| Gordura no leite (%) | 3,7 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 3,0 | 1,0 |

¹Adaptada de Mertens (2001).

Definição da forragem-padrão a ser adotada em sistemas visando à estimação dos fatores de efetividade da fibra e ao estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

Diferentes sistemas foram propostos para estimação dos fatores de efetividade da FDN (NRC..., 2001).

Segundo Mertens (1997), o primeiro passo no desenvolvimento de uma escala comum que possibilite o acesso a dados de efetividade da fibra diz respeito à definição ou à escolha de um padrão ou de uma referência contra o qual todos os demais alimentos serão comparados. Isto permite a eliminação de confundimentos decorrentes das diferenças nas concentrações de fibra química entre distintos alimentos (Mertens, 1997), bem como, segundo Armentano & Pereira (1997), de inevitáveis diferenças entre experimentos (grupos de vacas, condições ambientais, variações na natureza dos carboidratos não-fibrosos do concentrado).

Mertens (1997) trabalhou com o feno de gramínea com fibra longa como forragem-padrão (considerada como contendo 100% de FDN) na obtenção de

fef da FDN para diferentes alimentos, justificando que um hipotético padrão deveria possibilitar a máxima quantidade de mastigações/kg de MS ou de FDN. No entanto, recomendou pesquisas para comprovar a superioridade do uso de tal forragem como padrão em estudos do gênero. Na maioria dos trabalhos consultados, a forrageira usada como padrão na determinação da efetividade da FDN foi a alfafa (*Medicago sativa*, L.), sob as formas de silagem convencional (Mooney & Allen, 1993; Clark & Armentano, 1994; Swain & Armentano, 1994; Depies & Armentano, 1995; Mooney & Allen, 1997; Pereira et al., 1999) ou pré-secada (Clark & Armentano, 1993, 1997).

Entretanto, Mooney & Allen (1997) alertaram que estas forragens nem sempre podem ser consideradas verdadeiramente como padrões, na acepção da palavra, com o agravante de, invariavelmente, serem mal caracterizadas nestes estudos. Assim, concluíram, à semelhança de Allen (1995), que fe calculadas para específicos alimentos podem variar em função do fe da forragem considerada padrão naquele experimento. Em outras palavras, isto mostra que fe calculado para um alimento diz respeito única e exclusivamente àquela forragem que ele substituiu e talvez, conforme relataram Pereira et al. (1999), àquela partida de fonte de fibra não-forrageira utilizada no estudo. Conseqüentemente, os valores dos fe podem variar dramaticamente de um estudo para outro, opinião esta compartilhada por vários autores (Swain & Armentano, 1994; Depies & Armentano, 1995; Armentano & Pereira, 1997; Pereira et al., 1999), e, adicionalmente, apresentar elevados erros-padrões em suas estimativas (Pereira et al., 1999).

Allen (1995) sugeriu que em experimentos futuros dever-se-ia mensurar fe de alimentos com relação a um padrão comum, tal como feno de gramínea madura, visando à comparação entre estudos, dos valores obtidos, bem como possibilitando sua inclusão no balanceamento de dietas. É provável que o uso do feno de gramíneas como forragem-padrão, em detrimento da silagem de alfafa, seja realmente preferível, haja vista o primeiro não ter sofrido nenhum processo de picagem ou de preservação, influenciando no tamanho final de partículas ou, generalizadamente, na sua constituição físico-química.

Por outro lado, em função do tamanho médio de partículas da silagem de alfafa, Mooney & Allen (1997) relataram diferentes fef para caroço de algodão (Tabela 3), indicando a eventual necessidade de que o cálculo de fef seja padronizado com relação à forragem com diferentes comprimentos de corte.

Tabela 3. Valores de efetividade da fibra em detergente neutro (FDN) para vários alimentos, segundo a técnica e a variável-resposta escolhida para mensuração.

| Referência ^a | Variável-resposta | Técnica | Padrão | Alimento-teste | Fator de efetividade ^b | | Observações |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|---|---|
| | | | | | fe | fef | |
| 1 | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Glúten úmido de milho | 0,74 | - | 71 DEL ^c 32 (DP ^d) |
| 1 | Tempo de ruminação (min/ kg FDN) | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Glúten úmido de milho | - | 0,11 | |
| 1 | pH ruminal | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Glúten úmido de milho | 0,13 | - | |
| 2 | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa pré-secada | Mistura (caroço de algodão + grãos de destilaria + farelo de trigo) | 0,54 (0,57 0,32 - DP) | - | 108 (47-204 DEL) |
| 3 | Tempo de mastigação/dia/kg FDN | Modelo linear | Sil. alfafa (11,4mm) | Caroço integral de algodão | 0,50 (0,46-0,54) | - | 125 32 (DP) |
| | | | | Silagem de alfafa (5,8 mm) | 0,76 (0,74-0,78) | - | |
| | | | | Sil. alfafa (5,8 mm) | 1,27 (1,21-1,33) | - | |
| 4 | % gordura e tempo de ruminação | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Sabugo de milho | 0,51 | 0,42 | 67-123 DEL |
| | | | | Farelo de trigo | 0,51 | 0,33 | |
| 5 (exp. 1) | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Polpa de beterraba (integral ou moída) | 0,43 | - | |
| 5 (exp. 2) | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Grãos secos de cervejaria | 0,22 | - | 76-143 DEL |
| | | | | Casca de aveia | 0,61 | - | |
| | | | | Glúten de milho | 0,71 | - | |
| | | | | Brotos maltados de cevada | 0,48 | - | |
| 6 | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Polpa de beterraba | 0,43 | - | 122-179 DEL |
| | | | | Grãos secos de cervejaria | 0,46 | - | |
| | | | | Casca de aveia | 0,71 | - | |
| | | | | Glúten de milho | 0,40 | - | |
| 7 | % gordura no leite | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa pré-secada | Caroço integral de algodão | 1,3 | - | 135 (68-190 DEL) análise de FDN |
| | | | | Grãos de destilaria | 0,74-1,00 ^e | - | |
| 8 | Tempo de mastigação/dia/kg FDN | <i>slope ratio</i> | Silagem de alfafa | Caroço integral de algodão | - | 0,41 (sil. de alfafa c/ 11,4 mm) e 0,78 (sil. de alfafa c/ 5,8 mm) | 90 DEL |

^a Referências: 1 (Allen & Grant, 2000); 2 (Clark & Armentano, 1997); 3 (Mooney & Allen, 1997); 4 (Depies & Armentano, 1995); 5 (Clark & Armentano, 1993); 6 (Swain & Armentano, 1994); 7 (Clark & Armentano, 1993); 8 (Mooney & Allen, 1993).

^b fef = fator de efetividade física e fe = fator de efetividade; ^cDEL = dias em lactação; ^dDP = Desvio-padrão; ^eresultados diferentes em função da utilização ou não de sulfito de sódio na análise de FDN.

Em seu estudo, Mertens (1997) discutiu que a silagem de alfafa, provavelmente, apresentou efetividade menor que um, quando comparada ao feno de gramínea. Assim, seu fe pode subestimar o valor de fe de fontes de fibra não-forrageira na substituição do feno como forragem-padrão. Allen & Grant (2000) concluíram que a silagem de alfafa, em seu estudo, não foi 100% efetiva, enfatizando a necessidade de padronização dos valores de FDN baseados em uma única fonte forrageira.

Definição da(s) variável(is) de resposta-animal a ser(em) adotada(s) em sistemas visando à estimação dos fatores de efetividade da fibra e ao estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

Para fibra, à semelhança do observado para qualquer outro nutriente, faz-se necessária a definição de uma variável-resposta associada, de preferência facilmente mensurável, que venha a possibilitar o estabelecimento de requerimentos dietéticos (Weiss, 1993). No entanto, isto é bastante complexo haja vista que ajustes na fibra dietética com ingredientes naturais alteram múltiplos aspectos da dieta, os quais geram variadas respostas animais, parcialmente inter-relacionadas (Armentano & Pereira, 1997). Estes autores discutiram que diferentes variáveis de resposta podem conter informações independentes, tanto que mais do que uma medida de efetividade pode evidenciar-se bastante útil.

Assim, à luz dos distintos conceitos de FDN_{10} e de FDN_0 (Armentano & Pereira, 1997; Mertens, 1997), diferentes variáveis de resposta animal foram discutidas e utilizadas em bioensaios, como ferramentas para estimação da efetividade da fibra (Lima, 2003).

A efetividade física é importante componente do valor da fibra, mas não é o único. Segundo Swain & Armentano (1994), a atividade de mastigação resultante do consumo de alimentos não descreve de maneira global a contribuição de fontes de fibra no atendimento do padrão ótimo de carboidratos dietéticos. Em um esforço para determinar uma medida mais completa da fração FDN_0 , respostas animais que integram as características físicas e não-físicas dos carboidratos dietéticos devem ser mensuradas como variáveis-resposta (Armentano & Pereira, 1997).

Segundo Mertens (1997), a resposta animal tradicionalmente associada com FDN_0 é a "porcentagem de gordura do leite". Este autor relatou que a manutenção da porcentagem de gordura do leite tem sido o centro das atenções de

muitas pesquisas e de aplicações em nível de campo, do conceito de fibra efetiva. O inevitável impacto econômico para o produtor; a facilidade pela qual pode ser mensurada, e a expectativa de que possa ser um aceitável reflexo da saúde, do bem-estar e do desempenho do animal, são algumas das justificativas em que se baseia a eleição da variável “porcentagem de gordura do leite” como indicativa dos efeitos da concentração dietética de FDN_e .

Em seu estudo, Armentano & Pereira (1997), justificaram a escolha desta resposta por seu enorme potencial em integrar ritmos diurnos, haja vista a facilidade de coletas de amostras ao longo do dia e, ainda, permissível em um grande número de animais intactos (não-fistulados).

Características e utilização da técnica experimental “slope ratio” e da variável de resposta animal “porcentagem da gordura no leite”, para estimação dos fatores de efetividade da fibra e para o estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

O procedimento metodológico clássico, usado em experimentos de curta duração, para estimativa de valores de FDN_e para subprodutos fibrosos de origem vegetal (fontes de fibra não-forrageira), baseia-se nas alterações observadas na porcentagem de gordura do leite, quando a FDN de uma forragem considerada padrão ($fe = 1,0$) é substituída pela FDN daquele subproduto sob teste (Clark & Armentano, 1993; Swain & Armentano, 1994; Depies & Armentano, 1995). Esta técnica foi denominada *slope ratio* por preconizar o cálculo do fe por meio de uma relação entre coeficientes de inclinação, originados de regressões lineares.

Em termos gerais, o método exige a formulação de uma dieta denominada basal, com baixas ou subótimas concentrações de FDN total, bem como de FDN oriunda da forragem considerada padrão ($fe = 1,0$) naquele experimento. A partir destas concentrações basais de FDN , dietas com níveis crescentes de adição de FDN da forragem-padrão e por consequência, de FDN total, devem ser formuladas, visando à obtenção de uma curva de resposta-padrão, relacionando teores de gordura do leite (ou outra eventual variável-resposta) *versus* os conteúdos dietéticos de FDN da forragem-referência (Swain & Armentano, 1994). O coeficiente de inclinação obtido desta regressão fornece uma estimativa do aumento linear de unidades percentuais de gordura no leite para cada adição de 1% de FDN_e oriunda da forragem-padrão.

Com base nas concentrações de FDN definidas na dieta basal, uma ração contendo um nível adicional de FDN oriunda do alimento acerca do qual se deseja estimar o fe da fibra, deve ser também formulada em atenção às exigências da técnica. Considerando estas duas últimas dietas, a regressão linear simples dos teores obtidos de gordura do leite *versus* as concentrações dietéticas da FDN do alimento-teste, permite a definição de um segundo coeficiente de inclinação. Este expressa o acréscimo linear de unidades percentuais de gordura no leite da adição de 1% de FDN_g, oriunda do alimento-teste. Da razão entre os dois coeficientes de regressão obtidos, tem-se, então, uma estimativa do fe para o alimento-teste, em relação à forragem considerada padrão no experimento.

Uma das premissas básicas para o sucesso na aplicação da técnica *slope ratio* reside na clara definição da faixa de concentrações dietéticas de FDN que permita a obtenção de respostas lineares daquela variável selecionada para estudo da efetividade da fibra. Na maioria dos experimentos (Clark & Armentano, 1994; Swain & Armentano, 1994; Depies & Armentano, 1995; Allen & Grant, 2000), a linearidade da resposta na faixa selecionada para concentrações de FDN nas dietas foi clara e antecipadamente presumida, haja vista a confiança em apenas dois pontos para calcular os coeficientes de inclinação da curva-resposta-padrão.

Neste sentido, Allen & Grant (2000) questionaram os valores de efetividade obtidos em seu experimento, por considerarem que a porcentagem de gordura no leite poderia já ter atingido a assíndota em resposta à dieta basal (menor nível dietético de FDN oriundo da forragem). Estes autores sugeriram o uso de mais pontos para obtenção das equações de regressão, visando eliminar eventuais dúvidas quando da interpretação dos resultados finais em estudos conduzidos sob a óptica da técnica *slope ratio*. Também Swain & Armentano (1994), ao detectarem diferenças nos coeficientes de inclinação das curvas de resposta-padrão entre experimentos, recomendaram que, no mínimo, duas dietas de padronização, além daquela basal, deveriam ser incluídas em estudos que objetivem à determinação da efetividade da fibra, independentemente da variável-resposta escolhida.

Clark & Armentano (1997) apresentaram alternativa prática ao uso de procedimentos de regressão, para estimativa da taxa de acréscimo na variável-resposta em função da adição de unidades percentuais de FDN da silagem de alfafa pré-secada, utilizada como forragem-padrão em seu estudo. O cálculo foi feito a partir da diferença observada nos teores de gordura do leite de vacas recebendo

duas dietas com níveis crescentes de FDN de silagem de alfafa pré-secada. Este valor foi então dividido pela diferença, entre dietas, nas porcentagens de inclusão de FDN da forragem-padrão.

Como principais limitações da técnica *slope ratio*, Clark & Armentano (1997) apontaram a inexistência de fonte de fibra verdadeiramente padrão (na acepção da palavra), bem como as alterações dietéticas na natureza dos carboidratos não-estruturais, à medida que diferentes fontes de fibra são utilizadas.

Por outro lado, Pereira et al. (1999) relataram que o ganho em eficiência experimental associado à utilização de delineamentos experimentais em Quadrado Latino, com característica de curta duração, não provocou impacto negativo nas estimativas de efetividade da fibra, evidenciando que períodos superiores a três semanas de experimentação seriam, além de dispendiosos, desnecessários.

Segundo Armentano & Pereira (1997), outro problema inerente à técnica *slope ratio* refere-se à necessária pressuposição de que a mistura de concentrados incluída na formulação das dietas experimentais tenha fe igual a zero, o que contraria alguns resultados da literatura. Neste sentido, um modelo de resposta linear, considerando a FDN de cada componente da dieta (concentrado, forragem-padrão, alimento-teste) e permitindo a inclusão de valores de efetividade diferentes de zero para concentrado, foi proposto por Armentano & Pereira (1997). Tal artifício de cálculo foi previsto ser aplicável a experimentos que permitam, por meio da inclusão de controles, quantificar, separadamente, o efeito de cada fonte de fibra usada na composição das dietas. Entretanto, dados independentes adicionais são necessários para a definição do intercepto do modelo. Os autores relataram ainda que a técnica *slope ratio* pode ser considerada uma simplificação do modelo linear, pois nesta o coeficiente parcial de regressão do concentrado é arbitrariamente igualado a zero, permitindo a obtenção dos demais coeficientes.

Pelo que foi discutido anteriormente, pôde-se perceber que a variável de resposta animal "porcentagem de gordura do leite" foi amplamente utilizada, com auxílio da técnica *slope ratio*, na determinação da efetividade da FDN para diferentes ingredientes dietéticos. O uso desta variável tem sido justificado por integrar características físicas e não-físicas de carboidratos dietéticos, evidenciando-se como uma variável-resposta bastante completa para mensuração de FDN_e (Armentano & Pereira, 1997).

Por outro lado, para aplicação prática deste último conceito na formulação de dietas, um importante requerimento refere-se à acurácia nas estimativas dos fe. Entretanto, em algumas ocasiões, a técnica *slope ratio* não tem assegurado altas repetibilidades para valores de fe obtidos da resposta teor de gordura (Swain & Armentano, 1994; Clark & Armentano, 1997), e as razões para tanto foram atribuídas às normais baixas precisões verificadas em ensaios com animais de grande porte (Clark & Armentano, 1997; Pereira et al., 1999; Lima, 2003), bem como em função dos ingredientes dietéticos utilizados (Pereira et al., 1999) ou ainda, ao erro aleatório (Swain & Armentano, 1994).

Outra característica inerente à obtenção destas estimativas de fe diz respeito ao uso de vacas nos terços médio ou final da lactação (Allen, 1995, 1997; Kononoff, 2002). Segundo o NRC... (2001), a composição do leite destes animais é mais sensível a mudanças dietéticas. Por este motivo, Allen (1997) discutiu que valores de efetividade estimados com auxílio desta metodologia não seriam aplicáveis a vacas no início da lactação. Além disso, alertou que para estes animais, a variável-resposta "porcentagem de gordura do leite" poderia não ser a mensuração mais adequada para estimativa de efetividade da fibra. Segundo este autor, os requerimentos de fibra e de energia de vacas nos últimos terços da lactação são facilmente atendidos, embora não o sejam para vacas no início da lactação, quando a demanda excede o consumo de energia. Para estas últimas, dietas com menores concentrações de fibra e maiores teores de amido são normalmente fornecidas, visando a aumentos no consumo, mas, concomitantemente, induzindo a maiores riscos à saúde, como acidose, deslocamento de abomaso e laminite (Allen, 1995, 1997).

Utilização de variáveis de resposta animal relacionadas ao comportamento ingestivo, para estimação dos fatores de efetividade da fibra e para o estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

Allen (1997) discutiu que quando somente a porcentagem de gordura do leite é usada como variável-resposta para estimativa de fe da FDN, efeitos físicos da fibra sobre a mastigação, salivação e tamponamento ruminal são confundidos com aqueles metabólicos, decorrentes da composição química dos alimentos. Mertens (1997) ainda acrescentou que a FDN_e, por ser mais abrangente, é proporcionalmente mais sujeita a variações e erros de estimativa decorrentes de diferenças entre animais, condições experimentais e ingredientes dietéticos.

Valores para FDN_{16} baseados nas diferenças em resposta à atividade de mastigação (ingestão + ruminação) permitem a separação dos atributos físicos e químicos da fibra (Allen, 1995), e estão na dependência, principalmente das características macrofísicas de fontes de forragens com fibras longas (Armentano & Pereira, 1997).

Mooney & Allen (1993; Tabela 3), considerando o “número total de mastigações/kg de FDN consumido” como variável-resposta, estimaram fef para a FDN do caroço integral de algodão, quando este substituiu zero ou 27% da FDN da silagem de alfafa ($fef = 1$). O procedimento de cálculo usado foi semelhante àquele preconizado pela técnica *slope ratio*, com as mesmas pressuposições, quais sejam, a FDN da mistura de concentrados não contribuiu para a atividade de mastigação; e existiu relacionamento linear entre o consumo de FDN da silagem de alfafa e a atividade de mastigação na faixa estudada de FDN dietético.

Posteriormente, estes autores (Mooney & Allen, 1997; Tabela 3), trabalhando com os mesmos tipos de dietas e de alimentos, e com a variável-resposta “tempo total de mastigação/kg de FDN, min/dia”, utilizaram para o cálculo do fef metodologia semelhante àquela proposta por Armentano & Pereira (1997), qual seja, o modelo linear de resposta à fibra dietética. Por meio deste procedimento matemático mais refinado, foi possível considerar a contribuição do concentrado no cômputo geral da estimativa do fef . Dados médios da literatura foram recuperados por estes autores para estimativa do intercepto (0% de FDN de forragem) do modelo (Armentano & Pereira, 1997) e do tempo de mastigação atribuído à FDN do concentrado. No entanto, este último parâmetro não foi significativamente diferente de zero, e a equação usada para calcular o fef foi simplificada. A utilização de variáveis-resposta associadas a atividades de mastigação para estimativa de fef da FDN dispensa procedimentos de canulação ruminal ou de rumenocentese (Pereira et al., 1999), bem como não prioriza o uso de vacas em lactação, podendo ser aplicável para várias classes de ruminantes. Outra vantagem, segundo Mooney & Allen (1997), com relação à variável “porcentagem de gordura no leite”, diz respeito que esta última impõe a necessidade de se trabalhar com número maior de animais para expressão de diferenças significativas.

Lima (2003) utilizou a metodologia proposta por Mooney & Allen (1997) para avaliar a efetividade da FDN da cana-de-açúcar *in natura* ou tratada com hidróxido de sódio (NaOH) em dietas para vacas da raça Holandês em lactação.

A forragem-padrão considerada em seu estudo foi a silagem de milho, a qual foi atribuído coeficiente de efetividade física igual a um, e a variável-resposta utilizada foi o tempo de mastigação. Em atenção aos resultados publicados na literatura, um tratamento adicional com dieta baseada em feno de alfafa foi incluído em seu estudo, haja vista ser esta forrageira a mais utilizada em trabalhos do gênero. Considerando os erros-padrões das estimativas e os intervalos de confiança calculados para os coeficientes de efetividade, os autores concluíram que as efetividades físicas da FDN não diferiram entre forragens, sendo, em média, de 1,71 (0,35; 0,59 a 2,82); 1,29 (0,35; 0,17 a 2,40) e 1,10 (0,29; 0,48 a 1,90), respectivamente, para cana-de-açúcar *in natura* ou tratada com NaOH e para feno de alfafa. Os valores apresentados entre parênteses referem-se, respectivamente, aos erros-padrões e aos intervalos de confiança calculados para as médias.

Allen & Grant (2000) usaram a técnica *slope ratio* e a variável-resposta “tempo de ruminação (min/kg de FDN)” para estimar fef de glúten úmido de milho em dietas à base de silagem de alfafa (Tabela 3).

Sistema proposto por Mertens (1997) para estimação dos fatores de efetividade da fibra e para o estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

Lembrando distintos conceitos e sistemas propostos por diversos autores (características de fibrosidade; índice de valor de forragem; estrutura física; índice de fibrosidade), Mertens (2001) discutiu que conceitualmente todos se relacionam à FDN_{fe} , por estarem associados às atividades de mastigação. Entretanto, destacou que a FDN_{fe} difere destes prévios conceitos por ser um atributo do alimento, além de ser baseada em escala fixa e em valores de referência, não se caracterizando, portanto, como resposta biológica (*e.g.* min de mastigação/kg de MS) sujeita a variações de acordo com as condições experimentais em que é mensurada. Assim, concluiu que a FDN_{fe} possibilita uma estimativa mais consistente de fibra efetiva do que o faz a atividade de mastigação, pois é baseada em duas propriedades fundamentais dos alimentos: fibra (FDN) e tamanho de partículas, sendo, além disso, independente de fatores relacionados ao animal.

Partindo destas pressuposições, Mertens (1997) desenvolveu um sistema de FDN_{fe} , utilizando análises de regressão para designar fef para classes de alimentos, baseados na atividade de mastigação que eles estimularam. A princípio, Mertens (1997) sumarizou dados de atividade de mastigação de 45 experimen-

tos publicados e determinou o consumo de FDN para cada fonte dietética e forma física das 274, e após descarte de valores atípicos, 265 combinações de vacas e tratamentos. Um esquema para classificação quanto à forma física foi delineado para possibilitar maior uniformidade na descrição das informações sobre tamanho de partículas, disponibilizadas nos trabalhos consultados.

Para obtenção de estimativas iniciais de fef de 25 tipos de alimentos, Mertens (1997) procedeu à regressão de "min de mastigação/dia" *versus* "consumo de FDN (kg/dia)" para cada fonte dietética fornecida a cada uma das combinações vaca x tratamento. Um modelo linear com intercepto zero foi usado sob a premissa de inexistência de atividade de mastigação na ausência de consumo. Os coeficientes de regressão destas equações representaram os "min de mastigação/kg de FDN" para cada fonte e forma física. O feno de gramínea com fibra longa originou um coeficiente de regressão de 150 min de mastigação/kg de FDN e foi escolhido como a forragem-padrão (fef = 1,0) no cálculo dos fef das outras fontes dietéticas de FDN. Uma nova variável foi originada da divisão dos coeficientes de regressão de cada fonte e forma física por aquele do feno de gramínea (150 min/kg de FDN). Mertens (1997) procedeu à regressão desta nova variável *versus* consumo de FDN (kg/dia), e os coeficientes de inclinação obtidos representaram uma estimativa dos fef para cada fonte e forma física.

Para corrigir algumas inconsistências nos resultados, os fef foram ordenados dentro de cada fonte de FDN, possibilitando uma progressão lógica de valores em relação à forma física. Adicionalmente, os fef foram padronizados para permitir um mesmo fator para cada classificação física.

Em um segundo ciclo de análises, Mertens (1997) validou os fef padronizados, usando as mesmas 265 combinações de vacas e tratamentos. Após o descarte de observações atípicas e a inclusão de uma variável de classificação (efeito de citação) no modelo, Mertens (1997) obteve coeficiente de determinação (r^2) superior a 0,76 para as estimativas de fef.

Para obtenção de requerimentos de FDN_{16} (% da MS da dieta) para manutenção de específica porcentagem de gordura no leite ou de pH ruminal, Mertens (1997) utilizou os fef tabelados, em bancos de dados compilados da literatura com 213 combinações de vacas e de tratamentos experimentais (36 citações) ou 114 observações (26 citações), respectivamente para cada variável-resposta.

Dois tipos de modelos foram utilizados para predição da porcentagem de gordura do leite de vacas nos terços iniciais da lactação, a partir da variável independente FDN_{16} , expressa em % da MS da dieta ou em kg de MS/dia. Uma equação polinomial quadrática foi avaliada, e simplificada para a forma linear quando o termo quadrático não foi significativo ($P > 0,05$). Mertens (1997) avaliou ainda um modelo hiperbólico obtido da regressão da variável dependente *versus* o termo recíproco de cada variável independente. Este último modelo, segundo Mertens (1997), resultou em forma de regressão linear (nos parâmetros), cujo intercepto estimou a assíntota na variável dependente. Estatisticamente, isto se evidencia como característica bastante favorável, visto seu ajuste à limitação biológica da porcentagem de gordura (e de pH) não aumentar infinitamente. Os resultados (r^2 das equações) indicaram que os requerimentos de fibra para manutenção da porcentagem de gordura devem ser preferencialmente expressos de forma relativa, como proporção da dieta (min/kg de MS ou kg de FDN_{16} /kg de MS). O desvio-padrão da regressão, que fornece melhor estimativa da acurácia da equação do que o r^2 , sugeriu similaridade entre os modelos polinomial e recíproco. Utilizando procedimentos estatísticos (regressões reversa ou inversa), Mertens (1997) estimou requerimentos para específicas porcentagens de gordura do leite, bem como seus erros-padrões.

Potencial utilização do pH e do “mat” ruminal e de outras variáveis de resposta animal, para estimação dos fatores de efetividade da fibra e para o estabelecimento de requerimentos de fibra efetiva para vacas em lactação

Considerando que o pH ruminal pudesse ser melhor indicador da saúde e funcionalidade do rúmen do que a manutenção da porcentagem de gordura do leite, Mertens (1997) novamente avaliou os modelos polinomial e recíproco, procedendo à regressão do pH ruminal médio *versus* FDN_{16} (expressa em kg/dia ou em % da MS). Os modelos mais uma vez, apresentaram acurácia similar, com melhores resultados para a variável independente expressa em termos relativos. Os requerimentos e erros-padrões foram obtidos conforme relatado para a variável dependente “porcentagem de gordura no leite”.

Armentano & Pereira (1997) sugeriram o pH ruminal e os padrões de AGV como variáveis de resposta animal alternativas, que integram múltiplos componentes do teor de FDN_6 da ração.

As partículas grandes da forragem mais recentemente consumida pelo animal formam uma camada no rúmen denominada de *mat* ruminal, que flutua sobre o

pool de líquidos e de partículas menores. Segundo vários autores (Weidner & Grant, 1994a, 1994b; Mertens, 1997; Allen & Grant, 2000; Giger-Reverdin, 2000), a formação do *mat* ruminal constitui-se em fator essencial para a retenção seletiva de partículas de fibra com potencial tamanho para escape do rúmen, determinando a passagem e a dinâmica da fermentação ruminal, estimulando a motilidade do rúmen e a própria ruminação. Neste sentido, Grant (1997) discutiu que todos estes efeitos inter-relacionados estão na dependência direta do tamanho de partículas da forragem, constituindo-se a última, em informação essencial para a definição acurada de requerimentos de FDN_{16} .

Assim, haja vista o relacionamento da FDN_{16} com a concentração de fibra, tamanho de partículas e redução do mesmo (Mertens, 1997), a consistência do *mat* ruminal é, provavelmente, outra promissora variável de resposta física, embora com claras limitações com respeito à sua mensuração em maior número de animais (Armentano & Pereira, 1997; Lima et al., 2003). Procedimentos metodológicos para fornecimento de resultados indicativos dos efeitos de dietas sobre a consistência do *mat* ruminal foram publicados na literatura (Welch, 1982; Van Soest, 1994; Weidner & Grant, 1994a, 1994b), mas, segundo relatou Lima (2003), o erro-padrão obtido para esta variável sugere que metodologias mais precisas e acuradas para sua determinação devam ser desenvolvidas.

Procedimentos metodológicos propostos para determinação da distribuição do tamanho de partículas de alimentos e/ou de dietas para vacas em lactação

Diversos procedimentos metodológicos foram propostos e utilizados para determinação do tamanho de partículas de alimentos ou de dietas (Grant et al., 1990; Fischer et al., 1994; Depies & Armentano, 1995; Lammers et al., 1996a; Murphy & Zhu, 1997; Dewhurst et al., 2000). Estes diferem, principalmente, no número adotado de peneiras com diferentes aberturas de malhas, para separação das frações de acordo com o tamanho de partículas. Além disso, os próprios mecanismos de fracionamento preconizados por cada metodologia são eventualmente distintos com respeito ao sistema de peneiragem (a seco ou com auxílio de água), tipo de deslocamento (horizontal ou vertical) e sua intensidade, sistema de funcionamento (mecânico ou manual), e ao modo de cálculo da distribuição dos tamanhos de partículas (distribuição logarítmica, gráfico *Weibull* etc.).

Buckmaster (2000) discutiu que aparentemente contraditórias recomendações com respeito às mudanças nos requerimentos de FDN de acordo com alterações

no tamanho de partículas da dieta, foram originadas, possivelmente pela interpretação da distribuição do tamanho de partículas do que da recomendação *per se*. Murphy & Zhu (1997) relataram que a variedade disponível de técnicas dificulta a comparação de resultados de diferentes laboratórios ou a compilação de tais dados, de forma que sejam úteis para formulação de dietas.

Por estes e outros motivos, um método padrão de pesquisa, para adoção em escala laboratorial na determinação da distribuição do tamanho de partículas foi proposto pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE-S424), baseado em cinco peneiras (406 x 565 mm) com aberturas nominais de malhas de 19,0; 12,7; 6,3; 3,96; e 1,17 mm, além de um recipiente final (Buckmaster, 2000).

No entanto, a necessidade de método mais prático, rápido, acurado e de baixo custo, levou ao desenvolvimento de um separador de tamanho de partículas (*Penn State Particle Size Separator*), aplicável em nível de campo (Heinrichs, 1996; Lammers et al., 1996a). Este é constituído de duas peneiras e um recipiente final, permitindo a separação de frações, contendo partículas maiores que 19 mm; entre 19 e 8 mm; e menores que 8 mm de comprimento (Heinrichs, 1996; Lammers et al., 1996a). Este método simplificado foi baseado no padrão ASAE-S424 e demonstrou fornecer resultados similares, embora o gráfico *Weibull* tenha permitido um melhor ajuste dos dados de distribuição de tamanho de partículas de forragem, diferentemente do método original que preconizou o uso da distribuição logarítmica (Lammers et al., 1996a). Recentemente, uma nova peneira com abertura de malhas de 1,18 mm foi incluída no *Penn State Particle Size Separator* e sua utilização foi validada, visando à adicional caracterização das partículas mais finas do alimento ou da dieta (Kononoff, 2002).

Distribuição do tamanho de partículas de alimentos e/ou de dietas: Propostas e dificuldades para implementação deste conceito na formulação de dietas para vacas em lactação

O NRC... (2001) discutiu que medidas quantitativas de tamanho de partículas (*e.g.* tamanho médio de partículas, desvio-padrão e/ou distribuição) em detrimento às descrições qualitativas (*e.g.* grosseiramente picado) são necessárias para melhor acurácia no estabelecimento dos requerimentos de fibra. Isto se justifica, haja vista que as vacas consomem partículas de vários tamanhos (Heinrichs et al., 1999). O NRC... (2001) sugeriu que se o tamanho médio de partículas da forragem for menor que 3 mm, a concentração de FDN em dietas para vacas em lactação deve ser incrementada em algumas unidades percentuais.

Buckmaster (2000) recomendou que a redução no tamanho de partículas que pode eventualmente ocorrer após os processos de picagem da forragem, mistura dos ingredientes e distribuição da dieta, exige que as recomendações sejam baseadas no tamanho de partículas realmente disponibilizado para o consumo do animal, em preferência ao teórico comprimento de corte ajustado no equipamento de picagem. Além disso, relatou que a aplicação prática da distribuição de tamanho de partículas justifica-se na determinação da combinação de forragens necessária para alcançar adequados tamanhos de partículas na dieta total. Este autor relatou que as recomendações de tamanho de partículas estão ainda em estágio inicial de desenvolvimento e de resolução. Entretanto, em alguns trabalhos, específicas recomendações foram esboçadas (Allen, 1995, Tabela 1; Beauchemin, 1996; Heinrichs, 1996). Além disso, alguns autores (Allen, 1995; Bal et al., 2000; Soita et al., 2000) relataram nenhuma vantagem adicional em se aumentar o tamanho de partículas da forragem acima de certo ponto.

Segundo Lammers et al. (1996b), avanços nutricionais significativos serão obtidos da definição do relacionamento entre atributos físicos (tamanho de partículas) e químicos para caracterização da fibra efetiva. Neste sentido, Buckmaster (2000) discutiu que por meio de um índice seria possível captar tal interação e de modo explícito, proceder ao ajuste de efetividade. Segundo ele, o conceito de índice não é novo, haja vista os resultados de Sudweeks et al. (1981) e de Santini et al. (1983). Entretanto, nestes trabalhos, as interações entre tamanho de partículas e concentrações de FDN não foram completamente consideradas e não responderam pelas características de dispersão na distribuição do tamanho de partículas (Buckmaster, 2000).

Um índice de fibra efetiva para alimentos individuais que explicitamente estabeleceu um relacionamento entre a distribuição de tamanho de partículas e de FDN foi proposto por Buckmaster et al. (1997) citado por Buckmaster (2000). A partir da separação em três tamanhos de partículas (> 19 mm; 8 a 19 mm; < 8 mm) e de sua distribuição, conforme sugerido por Lammers et al. (1996a), o índice foi construído do somatório do teor de FDN, ponderado pela respectiva efetividade relativa em cada uma destas frações, dividida pela massa total das frações. Segundo Buckmaster (2000), os coeficientes de efetividade relativa, que foram determinados baseados em dados publicados na literatura, refletem a efetividade de cada tamanho de partícula em estimular a ruminação e em contribuir para a formação do *mat* ruminal. Entretanto, alertou que ajustes baseados no tipo de alimento podem evidenciar-se necessários, pois este índice não capta diferenças na efetividade de partículas de distintas fontes dietéticas.

Um simplificado sistema para mensurações químicas e físicas conduzidas em nível de laboratório, e baseado na concentração de FDN e na proporção de partículas retidas em peneira com abertura de malhas de 1,18 mm foi proposto por Mertens (1997). Este sistema ajusta as características químicas da fibra (FDN) de acordo com o tamanho de partículas, e tem como premissa básica que partículas com tamanho menor que 1,18 mm passam rapidamente pelo rúmen, não se evidenciando de importância no estímulo à mastigação e ruminação (Poppi et al., 1985). Além disso, pressupõe que a FDN é uniformemente distribuída nas frações do alimento, contendo distintos tamanhos de partículas; que a atividade de mastigação é igual para todas as partículas retidas na peneira com malhas de 1,18 mm; e que a fractabilidade (facilidade na redução do tamanho) é semelhante entre fontes de FDN (Mertens, 1997). Segundo Mertens (1997), com algumas exceções, houve boa concordância ($r = 0,93$) entre os fe_f estimados com esta metodologia, em relação àqueles mensurados por atividades de mastigação para vários alimentos (Swain & Armentano, 1994).

A principal limitação deste procedimento laboratorial para obtenção da FDN_{10} , diz respeito à não-padronização dos métodos para mensuração da distribuição do tamanho de partículas, com substancial impacto nos resultados finais (Mertens, 2001). Buckmaster (2000) ainda ressaltou que o método proposto por Mertens (1997) desconsidera tamanhos de partículas menores que 1,18 mm, além de equalizar os coeficientes de efetividade das partículas maiores que 1,18 mm.

Valores de efetividade da FDN, segundo a metodologia de estimativa

Efeito da metodologia e da variável de resposta animal na estimativa de fatores de efetividade da fibra de alimentos utilizados em dietas de vacas em lactação

Segundo Pereira et al. (1999) e Allen & Grant (2000), a formulação de rações prescinde que acurados valores de FDN_{10} sejam estimados para fontes de fibra não-forrageira. No entanto, em função do método de determinação e da variável de resposta animal escolhida, inconsistentes fatores de efetividade foram obtidos.

Allen & Grant (2000), trabalhando com vacas nos terços iniciais de lactação, utilizaram-se da técnica *slope ratio* para determinação de dois fe_f , a partir da concentração de gordura do leite e do pH ruminal; e de um fe_f , tendo a atividade

de ruminação (min/kg de FDN) como variável de resposta animal. A forragem-padrão (fef ou fe = 1,0) em seu estudo foi a silagem de alfafa e o alimento-teste foi o glúten úmido de milho. Os índices de efetividade obtidos foram de 0,74; 0,13; e 0,11; respectivamente, para porcentagem de gordura; pH; e atividade de ruminação (Tabela 3). Allen & Grant (2000) pressuporam que as diferenças observadas nos índices de efetividade foram reflexo dos atributos químicos e físicos do glúten úmido de milho. Segundo eles, este alimento possui fibra altamente digestível que foi capaz de diluir carboidratos não-fibrosos dietéticos, provocando decréscimos na produção de ácidos de fermentação. Mas devido ao seu pequeno tamanho de partículas, a FDN foi somente 11% tão efetiva quanto à FDN da silagem de alfafa em estimular a ruminação. Os autores concluíram que índices de efetividade podem variar substancialmente em função da variável-resposta, e recomendaram uma posição mais conservadora no tocante ao uso do menor valor obtido, evitando uma possível acidose no rúmen. Esta estratégia foi também recomendada por Pereira et al. (1999) para formulação de dietas em que fontes de fibra não-forrageira são incluídas.

Depies & Armentano (1995), trabalhando com vacas no terço médio da lactação, também obtiveram estimativas (*slope ratio*) para fe e fef bastante diferentes quando utilizaram as respostas "porcentagem de gordura do leite" e "tempo de ruminação" (Tabela 3). Os valores relatados para fe da FDN, considerando silagem de alfafa como forragem-padrão (fef ou fe = 1,0) e concentração de gordura do leite como variável-resposta, foram de 0,51 para ambos, o sabugo de milho moído e o farelo de trigo. Os respectivos fef da FDN (atividade de ruminação) para cada alimento foram 0,42 e 0,33. Os autores concluíram que metade da efetividade da FDN da silagem de alfafa refere-se ao seu tamanho de partículas, um efeito que não pode ser substituído pela FDN da maioria das fontes de fibra não-forrageira. A outra metade da efetividade da FDN da silagem de alfafa, e toda a efetividade da FDN da maioria das fontes de fibra não-forrageira, é decorrente do efeito de diluição dos carboidratos não-fibrosos da dieta.

Valores de efetividade da FDN (fe ou fef) publicados na literatura

Segundo Fox & Tedeschi (2004), forragens com elevados teores de água (e.g. forragem fresca; silagens com baixo teor de MS) podem não estimular a mastigação tanto quanto o fazem as mesmas forragens, mas sob a forma desidratada. No banco de dados de alimentos da versão 5.0 do CNCPS (FOX et al., 2003) constam valores de fef para pastagens de clima temperado ou tropical, variando de 40 a 60% da FDN.

Na Tabela 3, tem-se uma coletânea de valores de efetividade da FDN (fe ou fef), segundo a técnica e a variável-resposta escolhida para mensuração, evidenciando diferenças nos resultados obtidos. Além destes, Mertens (1997, 2001) também apresentou valores de fef para FDN de alimentos, estimados por técnicas de regressão a partir de atividades de mastigação ou baseados na concentração de FDN e na proporção de partículas retidas em peneira com abertura de malhas de 1,18 mm. Sniffen et al. (1992) também apresentaram valores tabelados para diversos alimentos (concentrados, leguminosas, gramíneas, e silagens), representando a proporção da FDN que é efetiva em atender aos requerimentos de fibra. No banco de dados de alimentos da versão 5.0 do CNCPS (Fox et al., 2003) foram tabelados valores para fef (% da FDN) de várias classes de alimentos comumente utilizados na formulação de dietas para ruminantes, inclusive aqueles disponíveis em regiões tropicais.

Conclusões

As atuais recomendações para requerimentos de fibra de vacas em lactação podem ser refinadas pelo ajuste da FDN para sua efetividade em manter a atividade de mastigação, o pH ruminal e a porcentagem de gordura do leite.

Entretanto, no presente momento, a falta de métodos padronizados e validados para mensurar fibra efetiva de alimentos ou para estabelecer requerimentos, limita a aplicação deste conceito.

A detecção das principais virtudes e deficiências inerentes aos distintos procedimentos metodológicos ora utilizados na determinação dos fatores de efetividade (fef ou fe) da FDN dos alimentos, constitui-se em importante ferramenta a orientar a busca por uma metodologia padrão, que seja eficiente na geração de dados realmente aplicáveis à formulação e à otimização de dietas.

O uso de variáveis-resposta que, teoricamente, permitam a separação quantitativa dos atributos físicos e químicos, em contraste àquelas que preconizam uma medida de contribuição global, são alternativas aparentemente mais lúcidas à mensuração da efetividade da fibra. No entanto, a superioridade de uma em relação à outra permanece sob debate, sendo obstáculo adicional a uma desejada padronização de informações que venham estar a serviço da aplicação prática do conceito de fibra efetiva.

Além disso, a identificação de outras características físicas ou químicas de alimentos, que influenciam sua efetividade em manter a funcionalidade do rúmen e o bem-estar

do animal, evidencia-se como importante e necessária, antes que novos específicos valores de efetividade para forragens e para subprodutos sejam determinados.

O impacto econômico e os efeitos sobre a saúde, bem-estar e a longevidade da vaca, quando da formulação de dietas contendo fontes de fibra não-forrageira, devem ser melhor investigados, preferencialmente, em experimentos de longa duração, visando, adicionalmente, à definição de requerimentos de fibra efetiva de acordo com o estágio de lactação.

A obtenção de acurados valores de efetividade da fibra destes subprodutos, seu nível ótimo de inclusão em dietas como substitutos parciais de forragens, bem como seu efeito indireto inerente à diluição de carboidratos não-estruturais, são informações necessárias à composição de dietas para vacas em lactação.

Com respeito a tópicos que se constituem hoje gargalo para recomendações mais pontuais e refinadas acerca da formulação de dietas, considerando a efetividade da fibra, algumas sugestões para pesquisa futura, em adição àquelas anteriormente esboçadas, são enumeradas a seguir:

- 1) Padronização dos procedimentos analíticos necessários à determinação das concentrações de FDN;
- 2) Definição de uma forragem-padrão comum, visando à comparação entre estudos, dos valores de efetividade obtidos, bem como, possibilitando seu uso no balanceamento de dietas;
- 3) Padronização das mensurações de distribuição de tamanho de partículas de ingredientes dietéticos comumente utilizados na composição de rações para vacas leiteiras;
- 4) Desenvolvimento de modelos que integrem informações acerca da distribuição de tamanho de partículas, das concentrações de FDN, das atividades de mastigação ou de ruminação, e da FDN_{16} ;
- 5) Desenvolvimento e validação de métodos laboratoriais para determinação da FDN_{16} e da FDN_6 , além de relacionamentos entre estes parâmetros;
- 6) Estimação da FDN_{16} e da FDN_6 para diferentes ingredientes dietéticos comumente utilizados em rações para vacas leiteiras, por meio das variáveis-

resposta discutidas anteriormente, bem como de eventuais outras, em relação a um padrão comum, visando ao estabelecimento de banco de dados para uso na formulação de rações.

Referências bibliográficas

- Abel, S. F.; Grant, R. J.; Haddad, S. G. Whole cottonseed versus whole soybeans: soyhulls:bicarbonate as dietary forage replacements for lactating dairy cows. **J. Anim. Sci.**, suppl. 1, v. 73, p. 102, 1995.
- Allen, D. M.; Grant, R. J. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 83, p. 322-331, 2000.
- Allen, M. Fiber requirements: finding an optimum can be confusing. **Feedstuffs**, v. 67, n. 19, p. 13-16, 1995.
- Allen, M. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 1447-1462, 1997.
- Ankom Technology. **Method for determining neutral detergent fiber (aNDF)**. Macedon, NY: ANKOM Technology, 2003. Disponível em: <http://www.ankom.com/09_procedures/procedures2.shtml>. Acesso em: 12 abr. 2005.
- Armentano, L.; Pereira, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 1416-1425, 1997.
- Bal, M. A.; Shaver, R. D.; Jirovec, A. G. et al. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 83, p. 1264-1273, 2000.
- Beauchemin, K. A. Using ADF and NDF in dairy cattle diet formulation – a western canadian perspective. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 58, p. 101-111, 1996.
- Buckmaster, D. R. Particle size in dairy rations. In: Garnsworthy, P. C.; Wiseman, J. (Ed.) **Recent Advances in Animal Production**. Nottingham: Nottingham University Press, 2000. Cap. 8, p. 109-128.
- Contreras Lara, D.; Gutiérrez Chávez, L.; Valdivia Macedo, I. et al. Nota breve: Two techniques for measuring neutral detergent (NDF) and acid detergent fibers (ADF) in forages and by-products. **Arch. Zootec.**, v. 48, p. 351-354, 1999.

Clark, P. W.; Armentano, L. E. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. **J. Dairy Sci.**, v. 76, n. 9, p. 2644-2650, 1993.

Clark, P. W.; Armentano, L. E. Influence of particle size on beet pulp fiber effectiveness. **J. Dairy Sci.**, v. 77, suppl. 1, p. 137, 1994.

Clark, P. W.; Armentano, L. E. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 675-680, 1997.

Depies, K. K.; Armentano, L. E. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings. **J. Dairy Sci.**, v. 78, p. 1328-1335, 1995.

Dewhurst, R. J.; Merry, R. J.; Davies, D. R. et al. Effects of legume silages on the quantity and particle size distribution of rumen contents in Holstein-Friesian cows. In: SOCIETY OF ANIMAL PRODUCTION MEETING, 2000, Scarborough. **Proceedings...** Scarborough: British of Society of Animal Production, 2000. p. 1.

Firkins, L. F. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. **J. Dairy Sci.**, v. 80, n. 7, p. 1426-1437, 1997.

Fischer, J. M.; Buchanan-Smith, J. G.; Campbell, C. et al. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. **J. Dairy Sci.**, v. 77, p. 217-219, 1994.

Fox, D. G.; Barry, M. C.; Pitt, R. E. et al. Application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein Model for cattle consuming forages. **J. Anim. Sci.**, v. 73, p. 267-277, 1995.

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

Fox, D. G.; Tedeschi, L. O. Application of physically effective fiber in diets for feedlot cattle. In: WORKSHOP SOBRE ADAPTAÇÃO DO MODELO CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM PARA AS CONDIÇÕES TROPICAIS: TREINAMENTO E SEMINÁRIO, 2., Juiz de Fora, 2004. **Proceedings...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2004. (Disponível em CD-ROM).

Fox, D. G.; Tedeschi, L. O.; Tylutki, T. P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 112, p. 29-78, 2004.

Fox, D. G.; Tylutik, T. P.; Van Amburgh, M. E. et al. **The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 4.0.** Ithaca: Cornell University, Department of Animal Science, 2000. 236 p. (Cornell University, Department of Animal Science, Mimeo 213).

Fox, D. G.; Tylutki, T. P.; Tedeschi, L. O. et al. **The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion (CNCPS version 5.0). Model documentation.** Ithaca: Department of Animal Science, Cornell University, 2003. paginação irregular. (Animal Science Dept., Mimeo 213).

Geerken, C. M.; Calzadilla, D.; González, R. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pastos y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. **Pastos y Forrajes**, v. 10, p. 266-273, 1987.

Giger-Reverdin, S. Characterization of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 86, n. 1/2, p. 53-69, 2000.

Giger-Reverdin, S. Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 55, p. 295-334, 1995.

Grant, R. J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 1438-1446, 1997.

Grant, R. J.; Colenbrander, V. F.; Mertens, D. R. Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa hay. **J. Dairy Sci.**, v. 73, n. 7, p. 1823-1833, 1990.

Hall, M. B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis: A laboratory manual.** Gainesville: University of Florida, 2000. 42 p. (University of Florida. Bulletin, 339).

Heinrichs, A. J.; Buckmaster, D. R.; Lammers, B. P. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. **J. Dairy Sci.**, v. 77, p. 180-186, 1999.

Heinrichs, J. **Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator.** University Park: The Pennsylvania State University, Department of Dairy and Animal Science, 1996. 9 p. (University Park, Penn State Extension Circular, DAS 96-20). Disponível em: <<http://www.das.psu.edu/dcn/catforg/particle/pdf/oldparticle9620.pdf>> . Acesso em: 15 abr. 2005.

Kawas, J. R.; Jorgensen, N. A.; Danelon, J. L. Fiber requirements of dairy cows: optimum fiber level in lucerne-based diets for high producing cows. **Liv. Prod. Sci.**, v. 28, p. 107-119, 1991.

Kononoff, P. J. **The effect of ration particle size on dairy cows in early lactation.** 2002. 139 p. Doctor of Philosophy (Thesis in Animal Science) – College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University, University Park. Disponível em: <<http://www.das.psu.edu/dcn/catforg/particle/#research>>. Acesso em: 15 abr. 2005.

Lammers, B. P.; Buckmaster, D. R.; Heinrichs, A. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **J. Dairy Sci.**, v. 79, p. 922-928, 1996a.

Lammers, B. P.; Heinrichs, A. J.; Buckmaster, D. R. Method helps in determination of forage, TMR particle size requirements for cattle. **Feedstuffs**, v. 68, n. 41, p. 14-17, 1996b.

Lima, M. L. M. **Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos.** 2003. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

Lopes, F. C. F.; Aroeira, L. J. M.; Rodriguez, N. M. et al. Efeito da suplementação e do intervalo de pastejo sobre a qualidade da forragem e consumo voluntário de vacas Holandês x Zebu em lactação em pastagem de capim-elefante. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 56, n. 3, p. 355-362, 2004.

Matos, L. L. A importância da fibra para as vacas. In: DIAS, J. C.; COSTA, J. L. (Org.) **Forragens para o gado leiteiro.** São Paulo: Tortuga; Juiz de Fora: Embrapa – CNPGL, 1997. p. 88-95.

Mertens, D. R. Analysis of fiber in feeds and its uses in feed evaluation and ration formulation. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. p. 1-32.

Mertens, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 1463-1481, 1997.

Mertens, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **J. Assoc. Off. Assoc. Chem. Int.**, v. 85, n. 6, p. 1217-1240, 2002.

Mertens, D. R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE: NOVOS CONCEITOS EM NUTRIÇÃO, 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. p. 25-36.

Mertens, D. R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **J. Anim. Sci.**, v. 64, p. 1548-1558, 1987.

Mertens, D. R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES. **Proceedings...** Wisconsin: US Dairy Forage Research Center, 1996. p. 81-92
Disponível em: <http://www.dfrc.ars.usda.gov/Research_Summaries/ind_meet/dfrc12.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2005.

Mooney, C. S.; Allen, M. S. Effectiveness of whole fuzzy cottonseed NDF relative to alfalfa silage NDF at two lengths of cut. **J. Dairy Sci.**, v. 76, suppl. 1, 1993. p. 247.

Mooney, C. S.; Allen, M. S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 2052-2061, 1997.

Murphy, M. R.; Zhu, J. S. A comparison of methods to analyse particle size as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. **J. Dairy Sci.**, v. 80, p. 2932-2938, 1997.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle.** 7. ed. Washington: National Academy Press, 2001. 333 p.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle.** 6. ed. Washington: National Academy Press, 1989, 159 p.

Pereira, M. N.; Garret, E. F.; Oetzel, G. R. et al. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. **J. Dairy Sci.**, v. 82, n. 12, p. 2716-2730, 1999.

Pitt, R. E.; Van Kessel, J. S.; Fox, D. G. et al. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the Net Carbohydrate and Protein System. **J. Anim. Sci.**, v. 74, p. 226-244, 1996.

Poppi, D. R.; Hendrickson, R. E.; Minson, D. J. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle. **J. Agric. Sci.**, v. 105, p. 9-14, 1985.

Russel, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **J. Anim. Sci.**, v. 70, p. 3551-3561, 1992.

Santini, F. J.; Hardie, A. R.; Jorgensen, N. A. et al. Proposed use of adjusted intake based on forage particle length for calculation of roughage indexes. **J. Dairy Sci.**, v. 66, n. 4, p. 811-820, 1983.

Silva, J. S.; Queiroz, A. C. da. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235 p.

Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **J. Anim. Sci.**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

Soita, H. W.; Christensen, D. A.; McKinnon, J. J. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. **J. Dairy Sci.**, v. 83, n. 10, p. 2295-2300, 2000.

Souza, G. B. de.; Nogueira, A. R. de A.; Sumi, L. M. et al. **Método alternativo para a determinação de fibra em detergente neutro e detergente ácido**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1999. 21 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Boletim de Pesquisa, 4.).

Sudweeks, E. M.; Ely, L. O.; Mertens, D. R. et al. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. **J. Anim. Sci.**, v. 53, n. 5, p. 1406-1411, 1981.

Swain, S. M.; Armentano, L. E. Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. **J. Dairy Sci.**, v. 77, p. 2318-2331, 1994.

Udén, P.; Robinson, P. H.; Wiseman, J. Use of detergent system terminology and criteria for submission of manuscripts on new, or revised, analytical methods as well as descriptive information on feed analysis and/or variability. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 118, p. 181-186, 2005.

Traxler, M. J. **Predicting the effect of lignin on the extent of digestion and the evaluation of alternative intake models for lactating cows consuming high NDF forages**. 1997. 145 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Cornell University, Ithaca, 1997.

Van Soest, P. J. **Nutrition Ecology of the Ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci.**, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

Varga, G. A.; Dann, H. M.; Ishler, V. A. The use of fiber concentrations for ration formulation. **J. Dairy Sci.**, v. 81, p. 3063-3074, 1998.

Varga, G. A.; Kolver, E. S. Microbial and animal limitations to fiber digestion and utilization. **J. Nut.**, v. 127. p. 819S-823S, 1997.

Weidner, S. J.; Grant, R. J. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 77, n. 2, p. 522-532, 1994a.

Weidner, S. J.; Grant, R. J. Soyhulls as a replacement for forage fiber in diets for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 77, n. 2, p. 513-521, 1994b.

Weiss, W. P. Dietary fiber requirements of dairy cattle explored. **Feedstuffs**, v. 65, n. 46, p. 14-17, 1993.

Welch, J. G. Rumination, particle size and passage form the rumen. **J. Anim. Sci.**, v. 54, n. 4, p. 885-894, 1982.

Embrapa

Gado de Leite

Apoio



Mais tecnologia. Mais resultados.

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

