

Artigo Número 25

UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO NIRS (NEAR INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY) NOS ESTUDOS DE VALORES NUTRICIONAIS (COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DIGESTIBILIDADE) DE ALIMENTOS PARA NÃO RUMINANTES

Evandro Campestrini¹

Introdução

A crescente demanda da sociedade por produtos de origem animal, a tipificação e disponibilidade de novos alimentos e tecnologias, e os avanços na informática e computação têm proporcionado o desenvolvimento de programas de computador para o cálculo de rações. Porém, o desenvolvimento e a atualização dos cálculos de ração não têm sido acompanhados pela atualização similar na qualidade dos dados que sustentam os programas (Saliba et al., 2003).

Um ponto crítico da aplicação prática de conhecimentos científicos gerados no campo da nutrição animal é o controle analítico de alimentos e produtos (Garrido et al., 1996; citados por Saliba et al., 2003). Por isso, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas rápidas e sensíveis que possam suprir esse banco de dados.

Os compostos orgânicos absorvem energia eletromagnética na região do infravermelho (IV). Em suas absorções vibracionais, as ligações covalentes se comportam como se fossem elásticas. "O espectro no IV tem sido comparado a uma impressão digital da molécula" (Vogel, 1992; citado por Saliba et al., 2003). Com base nesta afirmativa, passou-se a estudar o espectro infravermelho próximo de forragens ou componentes de ração para identificar os seus constituintes.

A espectroscopia de refletância no IV próximo tem sido desenvolvida a partir de 1980 com o intuito de relacionar a composição do alimento com sua absorção próxima ao infravermelho, podendo assim prever a composição, a digestibilidade e o teor de energia metabolizável, dentre outras variáveis inerentes ao alimento (Valdes & Leeson, 1991).

O espectroscópio de refletância no infravermelho próximo (NIRS) é constituído de uma câmara de leitura ótica e de um *software* para tratamentos matemáticos que, por meio de curvas espectrais dentro da faixa do infravermelho (700-2.500 nanômetros), gera equações para estimar valores de qualidade. Aliado a um *software* estatístico, permite a identificação, qualificação e quantificação de compostos orgânicos nos alimentos.

Para se obter sucesso na utilização desta tecnologia é necessário seguir alguns passos como: seleção das amostras, aquisição dos dados, leitura espectral, tratamento matemático, determinação das equações, validação e, finalmente, rotina analítica (Shenk & Westerhaus, 1994).

Segundo Undersander e Martin (1997), citados por Saliba et al., (2003), no momento, a tecnologia NIRS está sendo padronizada e equações estão sendo desenvolvidas. Num futuro bem próximo esta tecnologia estará acessível em muitos laboratórios. Portanto, os testes para análise de forragens e rações mudarão drasticamente. O NIRS fornecerá rapidamente e de forma mais sensível estimativas do

¹ Mestrando em Zootecnia - Nutrição de Monogástricos (Avicultura) -Universidade Estadual de Maringá – UEM; ecampestrini_zootecnista@yahoo.com.br

valor nutritivo dos alimentos, ajudando a comunidade agropecuária, pois os dados estarão disponíveis num menor tempo e com menor custo (Saliba et al., 2003).

O Que É NIRS?

Espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (NIRS) (Figura 1) é uma técnica analítica que usa uma fonte de luz produtora de comprimento de onda conhecido (normalmente 700–2500 nm, Figura 2), o que permite a obtenção de um quadro completo da composição orgânica de uma substância ou material analisado (Van Kempen, 2001). A técnica baseia-se no princípio de que diferentes ligações químicas na matéria orgânica absorvem ou emitem luz de comprimentos de onda diferentes quando a amostra é irradiada. Hoje em dia, o NIRS é amplamente e prosperamente usado em muitos campos diferentes como na medicina, no controle de qualidade e também nas análises de alimentos e rações.



Figura 1. Espectroscópio de refletância no infravermelho próximo (NIRS).
Fonte: www.foss.dk

O NIRS explora o fato de muitos produtos naturais absorverem radiação próxima ao infravermelho, numa região específica ou comprimento de onda específico, especialmente as ligações N-H, O-H e C-H que são fortemente absorvidas pela radiação próxima ao infravermelho. Assim, amostras com elevados níveis de proteínas (muita ligação N-H) absorvem mais em regiões de ligação amino do que amostras com baixo nível de proteína. Por outro lado, amostras com elevados níveis de umidade ou açúcar, terão absorção mais elevada na região associada com hidroxilas (OH).

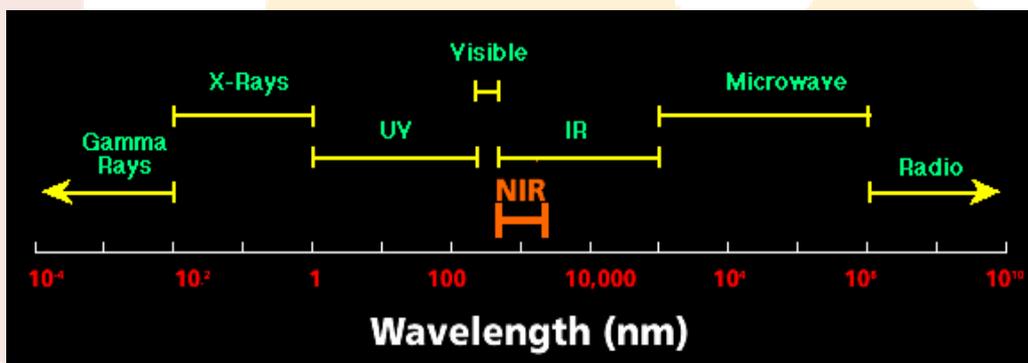


Figura 2. Comprimentos de ondas do NIRS.
Fonte www.winisi.com

A espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (NIRS) é uma ferramenta de controle de qualidade comum na indústria de alimentos. Tipicamente, o

NIRS é usado para prever o conteúdo de PB de amostras de alimentos, mas trabalhos realizados por Van Leeuwen et al. (1991), citados por Qião e Van Kempen (2004) e Van Kempen e Bodin (1998) mostraram que este também pode ser usado para prever aminoácidos totais e digestíveis. Outras técnicas de espectroscopia infravermelha, como a de Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) e Espectroscopia de Raman, não são comuns na indústria de alimentos, mas devido aos seus altos potenciais de dados espectrais, podem ser de interesse para a determinação do conteúdo de nutrientes em ingredientes de alimentos (Van Kempen, 2001). A técnica de FTIR, como sempre, tem tido flexibilidade limitada na análise de sólidos e o instrumento de Raman adequado para uso de rotina foi disponibilizado recentemente, sendo que suas práticas ainda requerem mais estudos.

Características e Benefícios do NIRS

- Permite a transferência e reutilização de calibração para vários instrumentos;
- Assegura a integridade e a identificação automática de amostras;
- É rápido (as análises estão prontas em 15 a 40 segundos);
- Não é necessário preparar as amostras;
- Reduz os erros do operador e aumenta o rendimento da análise.
- O instrumento é operado por um computador através de um programa de software, onde é possível ter acesso às mais recentes tecnologias de calibração com informações e com capacidade e habilidade de troca de dados.
- O aparelho NIRS é programado com o máximo de confiança analítica e uma adequada transferência dos dados para as indústrias de alimentos e rações. Essa transferência permite uma eficiente operação na network quando é necessário repartir informações com outros instrumentos, com um mínimo de custo.
- Quando o copo de amostra é colocado no instrumento, o software lê todas as suas informações, permitindo uma seleção automática para calibração antes do começo da análise. O copo pode ser carregado com um número de identificação e código do produto, juntamente com outros dados definidos pelo usuário ou operador.

Em estudos publicados, tem sido dada atenção à investigação das habilidades do NIRS para prever composição química e características de qualidade de alimentos em diferentes espécies. Para carne de porco, por exemplo, a maioria das pesquisas tem a intenção de avaliar a possibilidade de determinação da qualidade tecnológica da carne ou seus indicadores (pH, capacidade água) e a composição química da carne, isto é, gordura intramuscular, conteúdo de proteína e umidade (Meulemans et al., 2003; Geesink et al., 2003). Em estudos realizados com carne de boi foram determinadas a sua composição química e a sua textura, que são os atributos sensoriais mais importantes e que afetam a aceitação pelos consumidores (Byrne et al., 1998; Park et al., 1998; Leroy et al., 2003; Liu et al., 2003). A pesquisa também foi conduzida com carnes de outras espécies, como, por exemplo, as de aves (Valdes e Summers (1986), citados por Prevolnik et al., 2004) e as de cordeiros (Cozzolino et al., 2000), quando avaliaram o desempenho do NIRS na determinação da composição química e características de qualidade da carne. Poucos estudos existem, relacionando as habilidades do NIRS com a categorização de alimentos.

O equipamento de NIRS moderno oferece diferentes métodos estatísticos de regressão, tais como: regressão linear múltipla, parcial, e parcialmente modificada menos quadrado (PLS), principal componente (PCR) e também uma técnica nova que permite relação não-linear, redes neural para preparar calibrações ou equações. (WinISI, Infrasoftinternacional, LLC, 2000).

Numa tentativa para permitir a indústria avaliar grupos individuais de alimentos com relação ao seu conteúdo de aminoácidos digestíveis, várias técnicas matemáticas, analíticas, e *in vitro* foram desenvolvidas (Low, 1990; Jondreville et al., 1995 citados por Van Kempen E Bodin, 1998). Estas técnicas, porém, são demoradas, caras ou inexatas para a rotina de avaliação de alimentos.

Como resultado, a indústria ainda usa a medida de nitrogênio como ferramenta de controle de qualidade para avaliação rotineira de alimentos, embora o nitrogênio nem sempre faça boa correlação com o conteúdo de aminoácido digestível de amostras de alimentos (Van Kempen & Simmins, 1997).

De acordo com os pesquisadores, o NIRS é considerado como uma das técnicas mais promissoras para avaliar a qualidade de alimentos.

Variação dos Resultados das Amostras entre Laboratórios

- A variação maior surge da retirada da amostra, não importa o quão cuidadosa foi feita a divisão. Quando os laboratórios são comparados, as amostras sempre são resgatadas de um laboratório para o próximo.
- Técnicas de química úmida variam entre laboratórios fora do Consórcio².
- Resultados de NIRS estão freqüentemente baseados na técnica de química úmida de um dado laboratório e refletirão qualquer diferença da técnica entre laboratórios.

Padronização de Instrumento e Monitoramento

Algumas pesquisas mais antigas (Hall, 1983; Murray e Hall, 1983, citados por Pérez-Márin et al., 2004) mostraram que apenas dois comprimentos de onda poderiam prever a composição de 26 alimentos com sucesso. Porém, o número de amostras era insuficiente para executar as calibrações, as quais eram provavelmente robustas e usadas na rotina (Murray, 1996, citado por Pérez-Márin et al., 2004). Valdes & Leeson (1992); Berzaghi et al., (2000); Garrido et al. (2002) e TILLMANN et al. (2002). Todos esses autores demonstraram que o NIRS pode prever a composição química, o valor nutricional e a composição de ingredientes para animais de produção e estimação.

Quando falamos em calibração on-line, estamos nos referindo a uma rede de computadores integrados a partir de uma network.

Só podem ser transferidas calibrações desenvolvidas pelo consórcio, aos sócios, se o instrumento espectral destes for compatível com o do Consórcio controlador. Um instrumento está estabilizado quando produz os mesmos valores de predição que o instrumento principal (controlador), avaliado como o instrumento mestre, depois de analisar a mesma amostra.

Evidências científicas têm mostrado que a padronização pode ser melhorada usando células (Figura 3) feitas do mesmo produto que é usado na rede. Atualmente o Consórcio tem uma 14ª célula de forragem padronizada. Para produtos diferentes deste, uma padronização de células composta de múltiplos produtos deverá ser usada. No futuro, será possível desenvolver padronizações específicas para cada produto baseado num único conjunto de padronização desse produto. Isto poderia acontecer depois de uma avaliação de padronização baseada no conjunto de caracterização de forragem.

²Consórcio: Nome dado ao detentor da tecnologia ou fornecedores dos instrumentos NIRS e que possuem os bancos de dados necessários para o seu funcionamento.

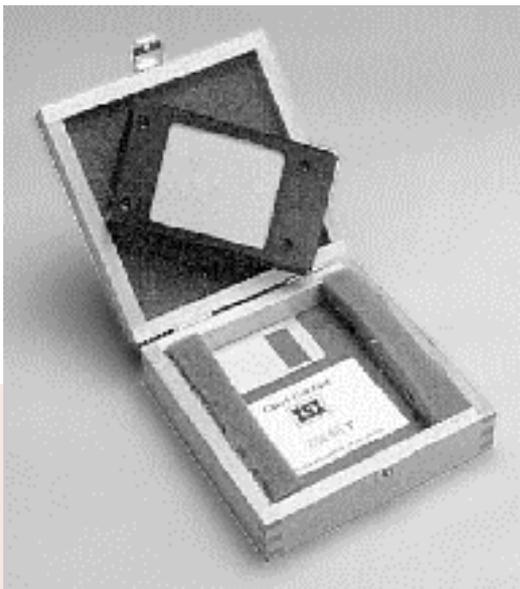


Figura 3. Célula de checagem do instrumento de NIRS.

Fonte: www.winisi.com

Depois da padronização dos instrumentos, devem ser monitoradas e deletadas mudanças no desempenho do instrumento e assegurar aos sócios (membros) predições precisas e consistentes.

Realizando o monitoramento em dois passos.

Primeiro: diagnósticos são executados semanalmente, sendo verificado se o instrumento conhece as especificações do fabricante. Segundo (e mais importante): conferir os testes que são feitos diariamente. Checar os resultados não é unicamente importante porque eles nos permitem descobrir documentos acumulados, mas também porque são usadas as mesmas células de controle em todos os laboratórios da rede. Uma avaliação segura dos desempenhos será obtida predizendo cada instrumento dentro da rede.

É necessário substituir todas as células NIRS de registro porque muitos ISI (Infrasoft International) conferem células, particularmente as velhas. Isso significa que amostras envelhecerão rapidamente e variação da umidade do conteúdo varia com a de umidade do ar e tais mudanças tornam incerta qualquer comparação entre instrumentos.

Depois de executar a padronização, cada instrumento deve ser monitorado usando a mesma amostra. Pelas razões há pouco explicadas, isto não pode ser feito usando células de controle velhas. Monitoramentos devem ser feitos com uma célula de controle nova que foi testada e não foi escoada. Quando está se executando uma rede de forragem, é preferível ter uma célula de controle de forragem. Predições da composição química de forragens são afetadas por absorção clara a comprimentos de onda que diferem sobre aqueles usados para farelo de soja. Usando uma célula de controle de forragem, associada com uma equação de célula de controle de forragem permitirá avaliar melhor o efeito de mudanças no desempenho de instrumento na precisão de forragem (Berzaghi, 2000).

As primeiras tentativas de se usar o método foram feitas há mais de quarenta anos, sendo que a maioria dos trabalhos de pesquisa com alimentos foram feitos na década passada (Byrne et al., 1998). Apesar de seu grande potencial para a avaliação de

qualidade de alimentos para a indústria, estudos na tentativa de preparar a calibração para o uso on-line não são muito frequentes.

Nos estudos iniciais (Valdes e Summers, 1986; Eichinger e Beck, 1992, citados por Prevolnik et al., 2004) as amostras estavam separadas em dois grupos: grupos de calibração e de predição. Em contraste com isto, o software de instrumentos modernos como o WinISI estima a precisão de predição por meio de validação cruz que usa o mesmo conjunto de amostras que era previamente usado para a calibração.

Validação cruz é um método onde cada amostra na calibração é predita; jogos de predição são feitos removendo uma (ou mais) amostra de calibração fixa e o processo é repetido até que todas as amostras tenham uma volta em um conjunto de predição. Erro de validação cruz assim representa uma verdadeira estimativa da precisão de predição. A habilidade de predição do NIRS geralmente é julgada através de parâmetros estatísticos como o coeficiente de determinação (R^2) e erro-padrão (EPC) de predição e/ou de calibração.

Embora os estudos de calibração de NIRS sejam usados e conhecidos tradicionalmente como equações GLOBAL, nas quais o conjunto de calibração é usado para a obtenção do modelo de predição, vários autores têm demonstrado as possibilidades de métodos de cálculo LOCAL. Porém, a maior dificuldade encontrada nesta área é o grande número de cálculos requeridos para cada predição em análises rotineiras, o qual, de modo considerável impede a resposta do instrumento. Shenk & Westerhaus (1994) apresentaram um algoritmo LOCAL capaz de executar predições rápidas e precisas.

É amplamente documentado que para o desenvolvimento de qualquer modelo de predição do NIRS (estratégia GLOBAL), a seleção de amostras incluídas no conjunto de calibração é um passo crítico que afeta grandemente a precisão e exatidão das calibrações executadas. Shenk & Westerhaus (1994) sugerem que as amostras selecionadas para calibração devem incluir todas as possíveis fontes de variação encontradas durante a predição para aumentar a robustez da calibração, embora isto normalmente diminua a precisão de predição.

Quando a estratégia LOCAL é usada, para cada amostra desconhecida ser predita, uma equação específica é obtida de um grupo de amostras selecionado do banco de dados, com base nas semelhanças dos seus respectivos espectros, em relação à amostra desconhecida, que poderia dispor de um alto grau de precisão nas predições. Além disso, quando a estratégia LOCAL for usada, a robustez é alcançada construindo um banco de dados grande, que contenha milhares de amostras com espectroscopia e dados de referência. A disponibilidade de uma grande biblioteca de amostras é uma das exigências principais para o uso próspero do modelo de cálculo LOCAL.

Pode ser dito assim que o modelo de cálculo LOCAL combina as vantagens da estratégia GLOBAL, em termos do uso de um único banco de dados que cobre toda a esperada variabilidade da população de amostras sob estudo, comparado à precisão obtida quando são desenvolvidas calibrações específicas.

Padronização de instrumento e Proposta de Monitoramento

Padronização

O Consórcio³ tem dois jogos de célula que circularão entre os laboratórios de cada sócio⁴. Cada laboratório executará suas padronizações individualmente e terá uma padronização de forragem executada, usando as 14 células de forragem e uma padronização de multi-produtos que usam os 30 conjuntos de caracterização de célula.

³ Consórcio: Nome dado ao detentor da tecnologia ou fornecedores dos instrumentos NIRS e que possuem os bancos de dados necessários para o seu funcionamento.

⁴ Quem adquiriu o instrumento.

Esta padronização será executada a cada 2 anos em todos os laboratórios e posteriormente será feita a calibração dos instrumentos.

Monitoramento

O monitoramento do desempenho dos instrumentos consistirá em duas etapas: teste diagnóstico e controle de células.

Vantagens E Desvantagens

O NIRS oferece várias vantagens importantes sobre os métodos convencionais tais como:

- Medidas freqüentes e rápidas;
- Preparação rápida e simples das amostras;
- Compatibilidade de uso em conexões on-line e;
- Determinação simultânea de diferentes atributos.

Como as desvantagens principais do método destacam-se: sua dependência em método de referência, fragilidade para componentes menores; transferência limitada de calibração entre instrumentos diferentes e interpretação de dados espectral complicada (Búning-Pfaue et al., 2003). Em análise de forragem, a transferência tem se mostrado limitada para obtenção de calibrações em material de origem diferente (Míka et al., 2003).

A previsão do resultado do NIRS em predição de ingrediente do alimento destacou vários fatores-chave que devem ser discutidos para assegurar o sucesso deste tipo de aplicação, como por exemplo, o tamanho do grupo de calibração, a presença de uma matriz altamente variada de ingredientes e a grande variedade de ingredientes usados em cada fórmula.

Vários estudos endereçam o uso da tecnologia NIRS para a descoberta de um ou mais ingredientes de rações, também empregado sozinho ou em combinação com microscópio ou analisador de imagens.

A maioria destes é o que poderia ser chamado de possibilidade de estudos, devido ao número pequeno de amostras testadas, e o uso predominante de misturas, especialmente aquelas das indústrias de rações.

Pesquisas Científicas

Farinhas de origem animal são os ingredientes alimentares mais variáveis usados em dietas de suínos e aves.

Os aminoácidos são tipicamente determinados por HPLC. Embora seja uma técnica bem estabelecida, o HPLC é demorado, caro e propenso a erros, dentro e entre laboratórios (Van der Meer, 1990, citado por Qião e Van Kempen, 2004). Assim, o seu uso rotineiro não é satisfatório na indústria de nutrição animal para avaliar a qualidade nutricional de ingredientes. Usando estes valores, conseqüentemente gera erros na formulação de alimentos e produção, o qual aumenta os custos e a excreção de nutrientes (Van Kempen e Simmins, 1997).

Em um trabalho realizado por Qiao e Van Kempen (2004), com o objetivo de avaliar três técnicas de espectroscopia no infravermelho (NIRS, mid FTIR e RAMAN) na rotina de avaliação de aminoácidos em farinhas de origem animal, os autores concluíram que o RAMAN não produziu espectros aceitáveis para produtos de origem animal. Para o FTIR, as amostras deveriam ser preparadas antes das análises, o que consumia maior tempo. A calibração foi semelhante ao NIRS, porém, quando se eliminou alguns comprimentos de ondas que apresentaram algum tipo de interferência reduzindo os erros

de predição, apresentou-se melhor do que o NIRS. Portanto, FTIR pode render melhores calibrações para aminoácidos em farinhas de origem animal do que o NIRS, necessitando apenas maior cuidado na preparação das amostras e no escaneamento dos dados.

O conhecimento da bio-disponibilidade de aminoácidos em um alimento é importante para a adequada avaliação do seu valor nutricional, proporcionando assim o nível mais adequado de inclusão numa dieta completa. Tradicionalmente, as disponibilidades de aminoácidos foram calculadas executando testes de digestibilidade *in vivo*. Em tais testes, a quantidade de cada um dos aminoácidos que desaparecem da área intestinal é determinada pela diferença entre a quantidade de cada um dos aminoácidos ingeridos no material teste e a quantidade de cada aminoácido que permanece ao término do íleo, o que é freqüentemente corrigido para perdas endógenas basais, de forma que a medida para a digestibilidade ileal verdadeira (padronizado) é obtida (Green, 1986, citado por Van Kempen e Bodin, 1998).

Van Kempen e Bodin (1998) desenvolveram um estudo para determinar a habilidade do NIRS em prever a digestibilidade ileal de aminoácidos de alimentos comumente usado na nutrição animal. Para isso foram usados galos cecectomizados e as curvas de calibração foram desenvolvidas usando alimentos de interesse, assim como outras amostras de alimentos de interesse, os quais melhoraram a qualidade da calibração.

O resultado da calibração foi capaz de explicar 88 - 95% das variações na digestibilidade da lisina, e 80-86% na variação da digestibilidade da metionina em farinha de carne e ossos, farinha de peixe e subprodutos avícolas. Para farelo de soja e grãos de trigo as calibrações obtidas explicaram em 55-62% a variação na digestibilidade da lisina e 64-84% a variação na digestibilidade da metionina. A baixa variação explicada para a lisina nestes produtos está ligada ao pequeno número de amostras analisadas na calibração e relativamente pequena variação encontrada na digestibilidade da lisina.

Comparando a variação observada pelo NIRS com a variação observada pela regressão baseada no nitrogênio, observou-se que a regressão baseada no nitrogênio trabalhou igualmente bem para amostras de trigo. Entretanto, para farelo de soja e farinhas de origem animal, o NIRS teve maior precisão.

Dado que as precisões de digestibilidade de aminoácidos são mais facilmente obtidas com NIRS do que com as mensurações de nitrogênio usando Kjehldahl, os dados sugerem que o NIRS é o método escolhido para a rápida predição de digestibilidade dos níveis de aminoácidos.

A técnica de Espectrometria de Refletância no Infravermelho Próximo (NIRS) também tem demonstrado ser apta para prever valores nutritivos das forragens. Mira e Flemming (2000), ao avaliar o sistema de análises por infravermelho na predição de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido (FDN e FDA), cálcio (Ca) e fósforo (P), conduziram um experimento com espécies de gramíneas de inverno (*Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*, *T. pratense*, *T. vesiculosum* e *Lótus corniculatus*) e pastos nativos, no verão. As amostras foram secas em estufas de ventilação forçada a 60°C e moídas finamente (peneira de 1mm). Com base nos resultados concluiu-se que o NIRS(,) pode prever de forma aceitável o valor nutritivo das forragens descritas neste experimento.

Saliba et al. (2003), realizou um experimento para a determinação da composição química do sorgo pela espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (NIRS) e comparou com os dados obtidos pelas análises convencionais de laboratório. Para tanto, foram utilizadas 132 amostras de quatro variedades de sorgo, nos quais foram avaliados carboidratos solúveis (CHO sol), fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido (FDN e FDA), proteína bruta (PB), matéria seca (MS) e digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS). O modelo matemático utilizado foi o de absorvância, pois foi o que melhor

representou os dados verificando as mais altas correlações (R^2) e os menores erros-padrões de calibração (EPC) (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades estudadas para o sorgo *in natura*, desvio-padrão (SD), coeficiente de determinação (R^2), correlação (r) e erro-padrão de calibração (EPC)

Propriedade	Modelo matemático	Média (%) laboratorial	Média (%) estimada	R^2 (%)	r	EPC	SD
CHOS sol.	Absorbância	15,1	14,8	98,7	0,23	3,2	3,2
FDN	Absorbância	60,9	59,9	96,4	0,41	16,9	7,7
FDA	Absorbância	29,2	29,3	98,1	0,30	7,6	4,1
PB	Absorbância	6,9	7,4	99,5	0,39	1,7	1,2
DIVMS	Absorbância	55,8	53,9	93,1	0,44	18,2	8,3
MS	Absorbância	28,4	30,1	95,8	0,44	7,4	4,2

Segundo Pires & Prates (1998) e Fontanelli et al. (2000), as variáveis mais utilizadas na avaliação da equação de calibração são: comprimento de onda; EPC, ou seja; o desvio padrão da diferença entre os cálculos do aparelho e os resultados do método de referência (laboratórios), e o coeficiente de determinação (R^2).

Bons resultados devem ter alto R^2 e baixo EPC, o que foi verificado para proteína bruta (PB), pois a técnica tem sido bem difundida para esse nutriente.

Para as frações de FDN e FDA a precisão da técnica NIRS foi menor. Shenk & Westerhaus (1994), estudando o potencial da técnica de NIRS para análises de forragens, afirmaram que ocorrem muitas misturas de carboidratos nestas frações, ainda não muito bem definidas quimicamente. Pelo exposto, a análise das frações FDN e FDA deve ser feita num modelo simples, estudando as variáveis separadas e não em curva múltipla. Dessa forma, haverá chance de minimizar as interferências dos componentes das frações ao limitar os comprimentos de ondas em faixas bem estreitas.

A DIVMS analisada pelo NIRS apesar do alto R^2 (97%) apresentou o mais alto EPC (18,2). Para a variável DIVMS a estimativa pela equação desenvolvida foi boa, o que também foi mencionado por Noah et al. (1997), num trabalho onde utilizou amostras coletadas do trato digestivo de suínos em diferentes horários, verificando que os picos em 1400 nm e 1600 nm, característicos do amido, desapareciam em tempos mais longos após o fornecimento da dieta, com conseqüente aumento dos picos em 2000 e 2100 nm, que se referem a carboidratos menos digestíveis nessa categoria animal. Os autores puderam assim avaliar a digestibilidade pela técnica NIRS, obtendo resultados satisfatórios e demonstrando que a técnica se presta bem para a determinação de digestibilidade. Para a variável MS, a curva de calibração não se ajustou muito bem devido ao fato das amostras possuírem teores elevados de taninos. Como eles possuem grupamento hidroxila (O-H), a absorção no infravermelho da banda hidroxílica da água pode ter ficado comprometida. Segundo Pires & Prates (1998), esta metodologia não se aplica bem para a variável MS. Como conclusão os autores indicam que o NIRS, quando bem calibrado, pode oferecer boa estimativa para as variáveis estudadas, exceto para MS, FDN e FDA.

Considerações Finais

A rede de instrumentos monocromadores está agora em uso difundido ao longo da indústria. A versatilidade de análises em NIRS com diferentes exemplos de ligações e uma grande variedade de análises, permite avaliar materiais das mais diferentes naturezas e composições que são comercializados atualmente.

Desde que o primeiro NIRS foi desenvolvido, documentos demonstraram a habilidade desta tecnologia para predizer valores de substâncias químicas tradicionais e outros parâmetros de interesse nutricional para diferentes alimentos e forragens. Porém, existe ainda a necessidade de maiores estudos para tornar sua calibração mais exata e a interpretação mais fácil de seus resultados.

Referências Bibliográficas

BERZAGHI, P.; SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. Local Prediction with Near Infrared multi-product databases. **Journal of Near Infrared Spectrosc.** v.8, p.1-9, 2000.

BÜNING-PFAUE, H. Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v.82, p.107-115, 2003.

BYRNE, C.E.; DOWNEY, G.; TROY D.J. et al. Non-destructive prediction of selected quality attributes of beef by near-infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1 098 nm. **Meat Science**, v.49, p.399-409, 1998.

COZZOLINO, D.; MURRAY I., SCAIFE J.R. et al. Study of dissected lamb muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy for composition assessment. **Animal Science**, v. 70, 417-423. 2000.

FONTANELLI, R.S.; DURR, J.W.; BASSO, S.M.S. et al. Avaliação da qualidade de silagens de milho através da espectrometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, p.1-3, 2000.

GARRIDO, A.; PÉREZ-MARIN, M.D; GUERRERO, J.E. et al. Near Infrared Reflectance Spectroscopy as an Essential Tool in Food Safety Programmes: Predicting Ingredients in Commercial Compound Feed. IN: DAVIS, A.M.C., CHO, R.K (EDS). PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEAR INFRARED SPECTROSCOPY. NIRS Publication, Chichester, West Sussex, UK, pp. 145-150. 2002.

GEESINK, G.H.; SCHREUTELKAMP, F.H.; FRANKHUIZEN R. et al. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. **Meat Science**, v.65, p.661-8, 2003.

LEROY B.; LAMBOTTE S.; DOTREPPE O.; et al. Prediction of technological and organoleptic properties of beef longissimus thoracis from near-infrared reflectance and transmission spectra. **Meat Science**, v.66, p.45-54, 2003.

LIU Y.L., LYON B.G., WINDHAM W.R., REALINI C.E., PRINGLE T.D.D., DUCKE S. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. **Meat Science**, v.65, p.1107-15, 2003.

MEULEMANS A., DOTREPPE O., LEROY B., ISTASE L., CLINQUART A. Prediction of organoleptic and technological characteristics of pork meat by near infrared spectroscopy. **Sciences des Aliments**, v.23, p.159-62, 2003.

MÍKA V., POZDÍŠEK J., TILLMANN P., NERUŠIL P., BUCHGRABER K., GRUBER L. Development of NIR calibration valid for two different grass sample collections. **Czech Journal of Animal Science**, v.48, p.419-24, 2003.

MIRA, R.T; FLEMMING, J.S. Utilização da Técnica da Espectrofotometria de Refletância no Infravermelho Proximal na Predição da Composição Química de uma Pastagem Consorciada entre Gramínea + Leguminosa. **Scientia Agrária**, v.1, nºs 1-2, p.83-95, 2000.

NOAH, ROBERT, P.; MILLAR, S. et al. Near-infrared spectroscopy as applied to starch analysis of digestive contents. **J. Agric. Food Chem.**, v.45, p.2593-97, 1997.

PARK B., CHEN Y.R., HRUSCHKA W.R., SHACKELFORD S.D., KOOHMARAIE M. Near-infrared reflectance analysis for predicting beef longissimus tenderness. **Journal of Animal Science**, v.76, p.2115-20, 1998.

PÉREZ-MARÍN, D.C; GARRIDO-VARO, A; GUERRERO-GINEL, J.E. et al. Near-Infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the Mandatory Labelling of Compound Feedingstuffs: Chemical Composition and Open-Declaration. **Animal Feed Science and Technology**. p.333-49, 2004.

PIRES, F.F.; PRATES, E.R. Uso da técnica da espectrofotometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS) na predição da composição química da alfafa (*Medicago sativa*, L.). **Rev. Bras. Zootec.**, v.27, p.1076-81, 1998.

PREVOLNIK, M; CANDEK-POTOKAR, M; SKORJANC, D. Ability of NIR spectroscopy to predict meat chemical composition and quality – a review. **Czech Journal of Animal Science**, v.49., p.500-10, 2004.

QIÃO, Y; VAN KEMPEN. T.A.T.G. Technical note: Comparison of Raman, mid, and near infrared spectroscopy for predicting the amino acid content in animal meals. Department of Animal Science, North Carolina State University. **Journal of Animal Science**, v.82, p.2596-2600, 2004.

SALIBA, E.O.S; GONTIJO NETO, M.M; RODRIGUES, N.M. et al. Predição da Composição Química do Sorgo pela Técnica de Espectroscopia de Refletância no Infravermelho Próximo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.55, n.3, Belo Horizonte, 2003.

SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. The application of Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In: FAHEY Jr., G.C. **Forage quality evaluation and utilization**. Madison: *American Society of Agronomy*, p.406-449, 1994.

TILLMANN, P.; HORST, H.; DANIER, J. et al. Analysis of mixed feeds and their components using near infrared spectroscopy. In: DAVIES, A.M.C., CHO, R.K. (EDS.), **PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEAR INFRARED SPECTROSCOPY**. NIRS, Publications, Chichester, West Sussex, UK, p.291-4, 2002.

VALDES, E.V., LEESON, S. Near-infrared reflectance analysis as a method to measure metabolizable energy in complete poultry feeds. **Poultry Science**. v.71, p. 1179-87, 1992.

Revista Eletrônica Nutritime, v.2, nº5, p.240-251, setembro/outubro 2005.

VALDES, E.V.; LEESON, S. Analisis rápido de energía metabolizable por espectroscopia de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR). **Avic. Profes.**, v.8, p.128-30, 1991.

VAN KEMPEN L. Infrared technology in animal production. **World's Poultry Science Journal**, v.57, p.29-48, 2001.

VAN KEMPEN, T. A. T. G.; BODIN, J.C. Near-infrared reflectance spectroscopy appears to be superior to nitrogen-based regression as a rapid tool in predicting the poultry digestible amino acid content of commonly used feedstuffs. **Anim. Feed. Sci. Technol.**, v.76, p.139-47, 1998.

VAN KEMPEN, T., SIMMINS P. H. Near infrared reflectance spectroscopy in precision feed formulation. **Journal Appl. Poult. Res.**, v.6, p.471-7, 1997.

WWW.FOSS.DK.

WWW.WINISI.COM

WWW.INTERNATIONALPAPER.COM.BR/CAVACOS/401/MATERIA18.HTML.

WINISI, INFRASOFTINTERNACIONAL, LLC, 2000.