



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

APPLICATION OF NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY TECHNOLOGIES (NIR) IN NUTRITIONAL MONITORING OF RUMINANTS

ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (NIR) APLICADA AL MONITOREO DE LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES

José André Júnior¹, Luciana Freitas Guedes², Luiz Felipe Martins Neves³, Iran Borges⁴, Carla Fonseca Alves Campos⁵, Carolyn Costa Araújo⁶, Mário Augusto Vitória⁷, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca⁸

e5115873

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5873>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

Este artigo aborda a aplicação de tecnologias de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e espectroscopia de reflectância no infravermelho fecal (fNIR) na avaliação nutricional de ruminantes. A análise dessas técnicas permite um monitoramento eficiente da dieta dos animais, facilitando a identificação de nutrientes essenciais e o controle da qualidade da alimentação. As metodologias apresentadas são não invasivas e oferecem resultados rápidos e precisos, representando uma ferramenta valiosa para a gestão de rebanhos em sistemas de produção sustentável. Os resultados indicam que o uso dessas tecnologias pode contribuir significativamente para a melhoria da produtividade e a sustentabilidade na pecuária. O objetivo deste artigo é explorar a aplicação das tecnologias de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e espectroscopia de reflectância no infravermelho fecal (fNIR) como ferramentas eficazes para o monitoramento nutricional de ruminantes, visando melhorar a eficiência produtiva e a sustentabilidade nos sistemas de produção animal.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia no infravermelho próximo. Espectroscopia fecal. Ruminantes. Monitoramento nutricional. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This article discusses the application of near-infrared spectroscopy (NIR) and fecal near-infrared reflectance spectroscopy (fNIR) technologies in the nutritional assessment of ruminants. The analysis of these techniques allows for efficient monitoring of animal diets, facilitating the identification of essential nutrients and the quality control of feed. The methodologies presented are non-invasive and provide rapid and accurate results, representing a valuable tool for livestock management in sustainable production systems. The findings indicate that the use of these technologies can significantly contribute to improving productivity and sustainability in livestock farming. The objective of this article is to explore the application of near-infrared spectroscopy (NIR) and fecal near-infrared reflectance spectroscopy (fNIR) technologies as effective tools for nutritional monitoring of ruminants, aiming to enhance productivity efficiency and sustainability in livestock production systems.

KEYWORDS: Near-infrared spectroscopy. Fecal near-infrared reflectance spectroscopy. Ruminants. Nutritional monitoring. Sustainability.

RESUMEN

Este artículo aborda la aplicación de las tecnologías de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) y espectroscopia de reflectancia infrarroja fecal (fNIR) en la evaluación nutricional de rumiantes. El

¹ Universidade Federal Rural do semiárido (UFERSA)

² Faculdades UNINTA FORTALEZA.

³ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

⁵ Universidade Estadual do Maranhão - UEMA.

⁶ Zootecnista pela Universidade Federal do Tocantins. Mestre em Ciência Animal Tropical pela Universidade Federal do Tocantins, Doutora em Zootecnia pelo Programa de Pós Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Norte do Tocantins.

⁷ Faculdade UNOPAR.

⁸ Universidade Federal do Norte de Tocantins - UFNT.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

análisis de estas técnicas permite un seguimiento eficiente de la dieta de los animales, facilitando la identificación de nutrientes esenciales y el control de la calidad de los alimentos. Las metodologías presentadas no son invasivas y ofrecen resultados rápidos y precisos, representando una herramienta valiosa para el manejo de rebaños en sistemas de producción sustentables. Los resultados indican que el uso de estas tecnologías puede contribuir significativamente a mejorar la productividad y la sostenibilidad en la ganadería. El objetivo de este artículo es explorar la aplicación de las tecnologías de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) y espectroscopia de reflectancia infrarroja fecal (fNIR) como herramientas efectivas para el monitoreo nutricional de rumiantes, con el objetivo de mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad en los sistemas de producción animal.

PALABRAS CLAVE: Espectroscopia de infrarrojo cercano. Espectroscopia fecal. Rumiantes. Seguimiento nutricional. Sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

A nutrição de ruminantes é um dos pilares para a eficiência produtiva e a sustentabilidade na pecuária, interferindo na saúde animal, a qualidade dos produtos obtidos e os impactos ambientais associados à produção. A avaliação nutricional precisa e o monitoramento contínuo das dietas desses animais são essenciais para garantir que as exigências nutricionais sejam atendidas, promovendo um desenvolvimento saudável e uma produção eficiente. Nesse contexto, a aplicação de tecnologias avançadas, como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e a espectroscopia de reflectância no infravermelho fecal (fNIR), surge como uma alternativa promissora para otimizar a gestão nutricional em sistemas de produção de ruminantes.

A escolha por investigar essas metodologias se justifica pela necessidade crescente de inovações que possibilitem um monitoramento mais eficiente da dieta dos animais, especialmente em um cenário em que a demanda por produtos de origem animal de alta qualidade e produzidos de forma sustentável aumenta. As técnicas de espectroscopia NIR e fNIR oferecem uma abordagem não invasiva, com capacidade de fornecer resultados rápidos e precisos, permitindo que os produtores façam ajustes na alimentação com base em dados objetivos e confiáveis. Este estudo busca contribuir teoricamente ao discutir as potencialidades e limitações dessas tecnologias, bem como à prática, ao fornecer diretrizes para sua implementação nos sistemas de produção animal.

As implicações práticas da pesquisa são significativas, pois a adoção dessas tecnologias pode levar a um controle mais eficaz da qualidade da alimentação, identificação de nutrientes essenciais e, conseqüentemente, a melhorias na produtividade e na sustentabilidade da pecuária. A análise detalhada das dietas, combinada com o monitoramento nutricional contínuo, não apenas otimiza a eficiência alimentar, mas também pode contribuir para a redução do impacto ambiental da produção animal, um objetivo fundamental em um mundo em busca de práticas mais sustentáveis. Assim, este artigo tem como objetivo explorar as aplicações das tecnologias NIR e fNIR no contexto da avaliação nutricional de ruminantes, apresentando evidências de sua eficácia como ferramentas para a promoção da eficiência produtiva e sustentabilidade nos sistemas de produção animal.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

1. QUIMIOMETRIA

Quimiometria é o campo da química que utiliza ferramentas estatísticas e matemáticas para o planejamento e otimização das condições experimentais, e para a extração de informação química relevante de dados químicos multivariados (Ribeiro *et al.*, 2007).

Em meados do século 20, a química acumulava uma grande quantidade e variedade de dados experimentais produzidos pelo avanço da tecnologia instrumental. Equipamentos com espectrômetros, cromatógrafos foram introduzidos nos laboratórios e tornaram-se instrumentos de rotina nas análises. Faltavam meios para maximizar a extração de informações relevantes prestadas por essa gama de dados, com isso, os laboratórios viram a necessidade de criar interfaces entre esses equipamentos e computadores, munidos de ferramentas matemáticas e estatísticas capazes de converter um grande conjunto de dados no máximo possível de informação útil, frente a essa situação, os métodos multivariados se encaixaram perfeitamente à demanda acelerando desenvolvimento da quimiometria (Ferreira, 2015).

A quimiometria foi estabelecida formalmente na década de 70, mas só se firmou definitivamente quando o computador foi adicionado como componente de instrumentos de medição nos laboratórios químicos. No Brasil a quimiometria pode ser agrupada em três áreas principais: planejamento e otimização de experimentos, reconhecimento de padrões e calibração multivariada (De Barros Neto *et al.*, 2006).

2. ESPECTRO INFRAVERMELHO

Luz é uma forma de energia que se propaga no tempo e espaço na forma de onda eletromagnética. A radiação infravermelha é uma parcela invisível do espectro eletromagnético adjacente ao comprimento de onda longa, ou extremidade vermelha, da escala clara visível que estendem até a escala da micro-onda. Entretanto, pode ser percebida como calor pelas terminações nervosas especializadas, ou seja, os termorreceptores da pele (Dover *et al.*, 1989).

A faixa do espectro infravermelho (IV) estende-se da frequência 3×10^{11} Hz até aproximadamente os 4×10^{14} Hz e é subdividida em três regiões: o IV-próximo (780 – 2500nm), o IV-médio (2500 – 50000nm) e o IV-longe (50000nm – 1mm) (Lima e Bakker, 2011).

3. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)

A descoberta da região NIR em 1800 é historicamente atribuída a Friedrich Wilhelm Herschel, astrônomo alemão que se naturalizou inglês e ficou conhecido pela descoberta do planeta Urano em 1781, usando um telescópio de refração. Herschel mediu temperaturas de cores provenientes da refração de um prisma de vidro usando três termômetros de bulbos pretos e, para cada cor do espectro, posicionou um bulbo em uma cor visível enquanto os outros dois foram posicionados fora do espectro para controle. Conforme ele media a temperatura individual das cores do violeta ao vermelho, ele percebeu que todas as cores tinham temperaturas mais altas que a dos termômetros de controle, e que a temperatura aumentava na direção do sentido vermelho e para além do vermelho.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Herschel descobriu que essa radiação sofria os efeitos de reflexão, refração, absorção e transmissão de forma semelhante à das radiações do espectro visível. Essa radiação foi depois renomeada de radiação infravermelha que agora é chamada de infravermelho próximo. Esse experimento foi importante para demonstrar que existem tipos de radiação que não são visíveis aos olhos humanos (Reich, 2005).

Contudo, apenas em meados do século 20 surgiram trabalhos com espectrometria baseada em luz, o engenheiro agrícola Karl Norris desenvolveu a espectroscopia no espectro do infravermelho-próximo (Ben-Gera; Norris, 1968). Posteriormente, o americano Frans F. Jöbsis mostrou a aplicação clínica da espectroscopia no IV- próximo, com a monitorização não invasiva dos parâmetros de oxigenação teciduais (Jöbsis, 1977).

O NIR revela ser um método rápido, simples, eficaz e não invasivo ou destrutivo que tem sido amplamente utilizado para análises quantitativas de alimentos (Zhang *et al.*, 2014). A Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) define a região NIR do espectro eletromagnético com a gama de comprimento de onda de 780-2526 nm correspondente ao intervalo de número de onda 12820-3959 cm^{-1} . (Siesler *et al.*, 2008)

Essa espectroscopia registra bandas espectrais de absorção que estão relacionadas com as vibrações das ligações dos grupos funcionais (C-H, O-H e N-H) existentes no material a ser analisado, correspondendo às harmônicas e combinações dessas vibrações. Os espectros do NIR variam com o número e tipo dessas ligações que entram em ressonância e vibram quando são submetidas a uma radiação específica, gerando uma onda numa frequência que é característica de cada grupo funcional (Gong *et al.*, 2010).

Os tecidos vegetais ou animais seguem um padrão de composição e tipos de ligações entre os átomos ou grupos de átomos (grupos funcionais) que os formam. As informações sobre esses grupos funcionais podem ser buscadas através de muitas formas diferentes de espectroscopia (Foley *et al.*, 1998).

Todavia, os picos produzidos no espectro NIR não são totalmente distintos, isso porque eles também são formados por harmônicas e combinações de absorções primárias na região do infravermelho, além disso, parte da luz incidente pode ser dispersada (Shenk; Westerhaus, 1993). De fato, existem poucas ou nenhuma região do espectro NIR onde absorvância pertence exclusivamente a um tipo de grupo funcional e a interpretação direta da absorção espectral é muito difícil para misturas complexas.

Cabe ressaltar que, o número limitado de grupos funcionais presentes nos tecidos vegetais e animais, possibilita assumir que a absorvância na região espectral característica de algum componente, por exemplo aminoácido é, na verdade, em grande parte devido à proteína desses tecidos. Todavia, os dados gerados não são absolutos e o NIR necessita de técnicas de estatística para afirmar suas suposições. Nesse sentido, a eficiência do modelo gerado, está diretamente ligada à forma como ele descreve a situação real, devendo ser o mais próximo possível dessa situação, para tanto, deve-se levar em conta o maior número possível de variáveis. É importante ressaltar que,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

quanto maior o número de fatores no modelo, menor será o desvio da reta de calibração. Em contrapartida, o aumento de fatores favorece o acúmulo de ruídos e erros de modelagem (Ferrão; Davanzo, 2005).

Isto posto, um cuidado a ser tomado com o NIR é a seleção de comprimentos de onda alvo determinada pela análise multivariada, especialmente quando os espectros exibem picos que não são distintos ou não conseguem identificar características importantes (Leardi; Norgaard, 2005). Os dados de absorvância espectrais associadas a uma ou mais frequências ao mesmo tempo, podem ser manipulados através da quimiometria sendo possível modelar propriedades químicas e físicas de dados simples e complexos, a partir de dados espectroscópicos (Zamora *et al.*, 1997).

Ferreira (2015) reportaram que o objetivo final da maioria das análises de dados multivariados é desenvolver modelos para quantificar uma propriedade de interesse, em geral esses modelos são de caráter empírico resultando de observações e medidas quantitativas extraídas do comportamento global do sistema observado. A autora destaca que avanços tecnológicos que promoveram a inserção de instrumentos analíticos computadorizados nos laboratórios, contudo, ressalta que os instrumentos fornecem como resposta imediata a intensidade de luz em determinada frequência, mas que normalmente não é uma medida quantitativa de interesse sendo necessário um processamento dessa resposta instrumental.

Essas medidas instrumentais vão dar origem a modelos matemáticos que podem ser por uso de regressão, além disso o instrumento precisa ser calibrado (treinado), ou seja, é necessário selecionar um conjunto adequado de amostra de referência para as quais as concentrações dos constituintes de interesse são conhecidas (Mertens; Naes, 1989).

A tecnologia NIR tem sido utilizada com sucesso no monitoramento da nutrição de ruminantes pelas análises da dieta e/ou fezes (Decruyenaere *et al.*, 2009; Dixon; Coates, 2009; Landau *et al.*, 2006). Desenvolvendo estudos com cabras e ovelhas, respectivamente (Leite; Stuth, 1995; Walker *et al.*, 2002) relataram que é possível extrair informações sobre a composição química e botânica das dietas ingeridas a partir das fezes dos animais.

Coleman *et al.* (1989) propôs um índice multivariado construído a partir de dados de propriedades espectrais das fezes na região do infravermelho. Esse autor usou como base de dados as fezes de animais a pasto ou que foram alimentados com forragem e tomou como verdade que o espectro NIR continha muito mais informações do que um conjunto discreto de constituintes químicos.

Num estudo pioneiro para validação do NIR fecal (fNIR) em cabras leiteiras manejadas a pasto (Leite; Stuth, 1995) coletaram amostras dietéticas de animais fistuladas no esôfago, e compraram com amostras fecais obtidas de animais não fistulados. Os pesquisadores conseguiram explicar 94% e 93% da variação da proteína bruta (PB) na dieta e a digestibilidade da matéria seca (DMS) com acurácia de 1,1 e 2,0%, respectivamente. Esses dados de referência resultantes da dieta e os espectros fecais foram usados para desenvolver equações preditivas, os autores verificaram que os ensaios de validação indicaram que as equações de PB e DMS selecionadas podem ser úteis na previsão do estado nutricional de caprinos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Os ruminantes domésticos de produção, em geral, possuem diferentes características anatômicas e fisiológicas, uma adaptação que vem da evolução dessas espécies e que acarretou comportamentos alimentares distintos (Van Soest, 1994). A diferença no hábito alimentar desses animais pode influenciar composição química de suas fezes que pode ser mensurada com auxílio do fNIR.

Usando essa técnica (Landau *et al.*, 2004a) avaliaram a nutrição de cabras do Mediterrâneo estabelecidas que recebiam dietas de concentrado e feno em diferentes proporções. Os autores verificaram que foi possível estimar parâmetros nutricionais das dietas de pequenos ruminantes com auxílio das equações geradas pelo fNIR e assim foi possível estimar os PB, a digestibilidade da matéria seca (DMS), polietileno glicol (PEG) e taninos de dietas.

Nesse estudo as fezes foram submetidas a radiação na faixa 1.100 - 2.500 nm por auxílio de um espectrômetro de infravermelho próximo e os valores de ingestão foram ajustados aos valores de refletância em base de % de MS. os parâmetros PB, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) das dietas foram analisadas de acordo com AOAC (1984), a MDS foi avaliada *in vitro* de acordo com a metodologia proposta por (Tilley; Terry, 1963), os taninos e a PEG foram avaliados como descrito por (Landau *et al.*, 2004 b) e todos esses atributos em porcentagens, foram utilizados como valores de referência nas calibrações NIR.

Landau *et al.* (2004 a) verificaram, usando o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão de validação Cruzada (EPVC), que a composição química e botânica (% MS) pode ser predita a partir de espectros de fezes com a mesma precisão que a partir de análises diretas de alimentos. Nesse estudo os autores encontraram valores para R^2 e EPVC como estimativas da qualidade de calibração para (PB: 0,98; 0,5), (FDN: 0,94; 1,5), (DMS: 0,98; 2,0); (PEG: 0,96; 1,0); (Feno: 0,99; 5,5), (Concentrado: 0,95; 4,5). Ao mesmo tempo obtiveram os valores para R^2 e SECV em ($g.d^{-1}$) de: (PB: 0,75; 12), (FDN: 0,79; 56), (DMS: 0,83; 126), (PEG: 0,92; 20); (Feno: 0,97; 67); (Concentrado: 0,95; 41). Os pesquisadores concluíram que, nas condições desse ensaio, a composição química (% MS) e a digestibilidade da dieta podem ser preditas a partir de espectros de fezes com a mesma precisão que a partir de análises diretas de alimentos.

Elucidar o valor nutricional de dietas de animais a pasto não é uma tarefa simples, especialmente quando a pastagem é nativa e a quantidade e o tipo de alimento consumido não é conhecida. Nesse a tecnologia fNIR pode ser aplicada ao material fecal para estabelecer relações estatísticas entre a refletância de amostras fecais na região do infravermelho próximo e as dietas consumidas.

Landau *et al.*, (2005) usando fNIR testaram a predição do teor de PB e a DMS na dieta *in vitro* em Cabras de Damasco, explorando as leguminosas *Pistacia lentiscus* e *Phyllirea latifolia* que são constituintes da pastagem nativa do mediterrânico, uma região semiárida com precipitação anual média de 600 mm.

Os autores utilizaram dois grupos de animais para o primeiro as cabras foram alimentadas manualmente com diferentes proporções de feno de leguminosas e concentrado enquanto para o



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

segundo os animais estavam a pasto e cada conjunto de dados serviu para a validação das equações NIR, os teores de PB das dietas foram determinados conforme preconizado pela AOAC (1984) e DMS *in vitro* de acordo (Tilley; Terry, 1963). Amostras fecais foram analisadas num intervalo de frequência entre 1104 e 2492 nm com incrementos de 2 nm.

Landau *et al.* (2005) verificaram valores satisfatórios de R^2 , EPC e EPVC para as estimativas das equações de calibração para PB e DMS na ordem de (PB = 0,98; 0,42; 0,50) e (DMS = 0,97; 1,71; 2,14) respectivamente, para a dieta das cabras do grupo 1 alimentadas manualmente. Para as cabras a pasto foram encontrados os valores (PB = 0,90; 0,29; 0,43) e (DMS = 0,85; 2,13; 2,28) respectivamente.

Os autores também observaram que o número de observações no conjunto de cabras do grupo 2 foi demasiadamente pequeno para permitir a calibração das equações preditivas usando fNIR sem incluir as cabras estabuladas na ordem de (PB = 0,21; 1,21; 1,53) e (DMS = 0,22; 4,06; 4,95), respectivamente.

Os valores de R^2 , EPC e EPVC na calibração PB foram pouco afetados quando houve inclusão de amostras fecais de cabras estabuladas. As calibrações da DMS *in vitro* mostraram valores de R^2 relativamente baixos, embora os valores de EPVC fossem aceitáveis para todos eles na ordem de (PB = 0,90; 0,39; 0,46) e (DMS = 0,84; 1,69; 2,10), respectivamente.

Landau *et al.*, (2005) chegaram à conclusão de que o NIR fecal tem o potencial de prever a percentagem de PB em dietas de cabras alimentadas em confinamento ou livremente pastando na região estudada, contudo, as calibrações devem ser usadas com cuidado quando extrapoladas para situação de pastejo.

Com o objetivo de estudar a eficácia das calibrações NIR para predição de PB e digestibilidade da matéria orgânica (DMO) de dietas para ovinos, (Li *et al.*, 2007) usaram a tecnologia fNIR em animais alimentados com espécies forrageiras cultivadas na América do Norte.

Esses pesquisadores obtiveram as equações de calibração a partir dos procedimentos múltiplos passos (SWR) (Hruschka, 1987) e de regressão de mínimos quadrados parciais (PLS) (Martens e Naes, 1987) sendo selecionadas as equações preditivas mais ajustadas a partir conjunto de vários fatores incluindo: erro padrão de calibração (EPC), erro padrão laboratorial para o método de referência (EPL), coeficiente de determinação (R^2), equação comprimento de onda e EPVC.

O ensaio demonstrou que as equações apresentaram desempenho semelhante e aceitável para os métodos SWR e PLS. Nos dois métodos as equações para predição de PB apresentaram R^2 na ordem de 0,93 e 0,95 respectivamente, por outro lado as equações de predição para DMO apresentaram R^2 de 0,78 e 0,80 respectivamente.

Li *et al.*, (2007) nesse estudo concluíram que o NIR fecal pode ser usado para determinar a qualidade da dieta em ovinos e que as equações preditivas desenvolvidas nessa pesquisa são capazes de monitorar a qualidade da dieta carneiros da América do Norte, nas condições avaliadas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ELECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Coates e Dixon (2007) alertaram que estudos sobre dietas mensuradas em ovinos podem fornecer informações adicionais quando se trabalha com outra espécie, contudo, a extrapolação dessas medidas para bovinos pode gerar erros (Dudzinski; Arnold, 1973; Wilson, 1976).

Em estudo com bovinos a pasto (Coates; Dixon, 2007) usaram o fNIR para mensuração da dieta do gado manejados em pastagens no Norte da Austrália onde predomina o clima tropical.

Nesse estudo os pesquisadores buscaram identificar a composição da pastagem que não era formada por grammas, baseados nas observações de (Hattersley, 1983) que aferiram que nas regiões tropicais e subtropicais, as pastagens são predominantemente espécies de C4 enquanto a maior parte das outras são C3. (Coates; Dixon, 2007) usaram as amostras de calibração de vários locais no norte da Austrália em diferentes sistemas de pastagens, estações e anos (Lyons *et al.*, 1992; Coates, 2004; Dixon; Coates, 2005), esses autores observaram parâmetros estatísticos para equação de calibração na ordem de $R^2 = 0,94$ e EPVC = 0,78 e erro padrão de calibração (EPC) = 0,76%.

Os dados estatísticos de calibração gerados para PB foram $R^2 = 0,95$; erro padrão de validação cruzada (EPVC) = 1,08%; EPC=2,00% e para DMO foram $R^2 = 0,89$; EPVC = 2,03%; EPC=2,00% e para cinzas $R^2 = 0,90$; EPVC = 2,06%; EPC=2,00%.

Coates e Dixon (2007) concluíram que o conjunto de calibração indicou equações de calibração robustas capazes de fornecer previsões confiáveis quando aplicadas às fezes de gado da maioria das pastagens do norte da Austrália.

O desempenho de ruminantes manejados a pasto tem relação direta com o consumo e a digestibilidade da forragem. A mensuração destes parâmetros é geralmente estimada por análises químicas de amostras coletadas no campo e, em alguns casos, essas medições efetuadas *in vivo*, podem afetar o bem-estar dos animais.

Na pecuária industrial, sistemas de produção a pasto que operam em regime de manejo intensivo encontram nessa alternativa tecnologia, além da rapidez e precisão, uma forma ambientalmente correta para monitoramento das dietas quando comparada aos procedimentos clássicos de laboratório (Bertrand, 2002).

Buscando desenvolver uma técnica para estimar o consumo, a digestibilidade e a qualidade da dieta de ovelhas e avaliar o potencial do NIR, (Fanchone *et al.*, 2007) realizaram um experimento onde analisaram a forragem e as fezes dos animais. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas e alimentados com forragem fresca retirada da pastagem em região tropical, os pesquisadores mensuraram os dados de: DMO, PB, FDN, fibra em detergente ácido (FDA) e lignina de detergente ácido (LDA).

Nesse experimento (Fanchone *et al.*, 2007) desenvolveram equações de calibração a partir dos espectros fecais que permitiram obter estimativas precisas da composição da forragem consumida pelas ovelhas. Para os parâmetros PB e DMO os resultados auferiram boas estatísticas de calibração com R^2 , EPC e EPVC (0,99; 0,33%; 0,61% e 0,81; 1,78%; 2,02%).

Com estes resultados (Fanchone *et al.*, 2007) demonstraram que é possível prever com boa precisão os teores de constituintes importantes da dieta de ovelhas como PB, DMO, FDN e FDA,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

além disso, também verificaram que fatores antinutricionais com a lignina podem ser preditos facilitando o manejo nutricional de sistemas de produção a pasto. Por fim, concluíram que a variação na qualidade da dieta em função do manejo agrônômico adequado das espécies forrageiras tropicais, favorece a formulação de equações de calibração que podem predizer com boa precisão os fatores importantes da dieta para ovinos.

A tecnologia fNIR pode ser utilizada na pecuária de manejo intensivo, uma vez que, fornece ao sistema de produção informações rápidas e relativamente precisas que permitem o empreendedor avaliar a qualidade nutricional dos alimentos e o desempenho dos animais, além disso, essas informações favorecem a tomada rápida de decisão.

Os ensaios de digestibilidade *in vivo* normalmente são conduzidos com animais confinados individualmente usando gaiolas metabólicas em condições que permitam a coleta total ou parcial de fezes sem contaminação por urina, porém, métodos não invasivos que minimize o estresse e que seja economicamente viável para monitorizar a nutrição de caprinos em confinamento são pouco avaliados (Landau *et al.*, 2008), sugeriram que a tecnologia fNIR pode prever atributos dietéticos, com base na análise da refletância de fezes no Próximo Infravermelho.

Landau *et al.* (2008) conduziram dois experimentos um para avaliar a estabilidade dos espectros fecais ao longo do tempo e o outro para avaliar o desempenho das calibrações fecais do NIR usando amostras coletadas durante os ensaios de digestibilidade em três países no período entre 1978 e 2003 para os parâmetros PB, FDN, FDA, LDA e ADL, em base de MS.

No primeiro experimento Landau *et al.*, (2008) avaliaram a modificação espectral de fezes com tempo de armazenamento comparando o desempenho das calibrações de fNIR. Os autores observaram que espectros fecais mudaram ao longo do tempo em quase toda a região NIR entre 1400 e 2500 nm, ou seja, características químicas das fezes foram alteradas pelo envelhecimento.

Landau *et al.*, (2008) observaram que a precisão das equações de calibração para o consumo foi inferior à das equações para porcentagens dietéticas, com R^2 nas respectivas faixas de 0,76-0,83 e 0,84-0,95. Observaram também menor precisão para os atributos de digestibilidade, com valores de R^2 na faixa de 0,73-0,85, porém, verificaram que as precisões das calibrações para as porcentagens dietéticas dos ingredientes das dietas foram altas, com valores de R^2 variando entre 0,90 e 0,98.

Aos autores concluíram que os espectros fecais perdem parte de suas informações químicas iniciais ao longo do tempo, mas que é possível estabelecer as previsões de digestibilidade usando o fNIR, além disso perceberam que a seletividade dietética característica dos pode ser avaliada com o uso do fNIR ao nível de propriedade.

Decruyenaere *et al.*, (2009) avaliaram o potencial NIR, aplicada à forragem e/ou fezes, para estimar DMO e o consumo voluntário de matéria orgânica (CVMO) em ovinos para vários tipos de forrageiras temperadas.

Esses autores avaliaram duas amostras de forragem de espécies e estágios diferentes para estimar a DMO (%) e o CVMO (g.kg^{-1}), o desempenho das equações de calibração do NIR foi expresso em termos de R^2 , EPC e EPVC. Nesse estudo os modelos NIR foram configurados com um



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

procedimento de mínimos quadrados parciais modificados (PLS) com validação cruzada. Para cada parâmetro testado, 64 equações de calibração foram formuladas, variando em termos de derivadas, intervalo discreto e contínuo e correção de dispersão

As amostras de forragens e fezes foram submetidas à análise NIR e as calibrações preditivas foram desenvolvidas a partir de espectros das fezes, forragem, espectros concatenados e espectros obtidos calculando as diferenças. No estudo foram encontrados valores para $R^2 > 0,80$, os EPVC para DMO e CVMO foram de 2,10% e 4,51 g.kg⁻¹ PV^{0,75}, respectivamente e os valores para EPC em torno de 1,9%.

Nesse estudo (Decruyenaere *et al.*, 2009) encontraram para cada parâmetro testado, 64 equações de calibração desenvolvidas usando modelos estatísticos e matemáticos de derivadas, intervalo discreto e contínuo até correção de dispersão, onde o melhor modelo preditivo foi obtido usando o espectro da derivada segunda com correção de dispersão. Eles concluíram que a precisão da técnica NIR para estimar CVMO é semelhante ou melhor do que a precisão dos outros métodos de estimação e que trabalhar com espectros fecais (isolados ou concatenados) lhes permitiu desenvolver as melhores equações de calibração tanto para DMO quanto para CVMO.

NIR é uma tecnologia baseada em calibração, o que significa que a análise é limitada a apenas materiais e nutrientes para os quais foram desenvolvidas calibrações, a análise dos constituintes das fezes permite realizar calibração de equações para estimar a qualidade da dieta (Bonfim, 2013), esse procedimento já fora realizado antes para determinação do nitrogênio fecal e outros indicadores visando desenvolver ferramentas fáceis para monitorar a qualidade nutricional da dieta (Peripolli *et al.*, 2011).

Com o objetivo de validar a técnica fNIR para estimar a DMO e o CMS da dieta de vacas leiteiras manejadas a pasto e suplementadas com polpa de beterraba desidratada e concentrado comercial, (Decruyenaere *et al.*, 2012) realizaram comparação entre três métodos para CMS: fNIR, o método do desempenho animal (MDA) e a técnica da relação ou proporção (TR). Também fizeram comparação entre dois métodos para DMO: fNIR e o métodos indicador de nitrogênio fecal (INF). No primeiro caso os autores testaram o modelo fNIR desenvolvido para vacas leiteiras (De Brabander, 1993) e no segundo caso testaram um modelo fNIR utilizando uma calibração desenvolvida a partir dos espectros fecais em ovinos conforme descrito por (Decruyenaere *et al.*, 2009).

Os dois modelos foram desenvolvidos para estimar a DMO de animais exclusivamente em pastejo. Nesse estudo como houve suplementação, foi necessário calcular a diferença entre os teores excretados de PB e FDA atribuídos à dieta concentrada e os teores de PB e FDA referente à pastagem.

Baseados nos coeficientes de Person (Decruyenaere *et al.*, 2012) observaram que houve alta correlação entre as estimativas fNIR de ovinos e fNIR para bovinos ($r = 0,79$, $P < 0,01$), também observaram alta correlação como entre as estimativas TR-1 e TR-2 ($r = 0,99$, $P < 0,001$) e as estimativas MDA-1, MDA-2 e MDA-3 (variaram de 0,90 a 0,93, $P < 0,001$). As estimativas do fNIR de ovinos foram correlacionadas com as estimativas de TR ($r = 0,75$ e $0,78$; $P < 0,01$) e MDA ($r = 0,88$, P



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

$<0,001$; $r = 0,74$, $P <0,01$ e $r = 0,67$, $P <0,05$). As estimativas do fNIR de bovinos não foram correlacionadas com as estimativas MDA-2 ou MDA-3 ($r = 0,39$ e $r = 0,50$; $P > 0,05$). Esses autores chegaram à conclusão que usando o fNIR é possível extrair informações sobre o consumo e digestibilidade da dieta a nível de rebanho e que essas estimativas podem ser utilizadas como apoio para tomada de decisão com vista na melhoria do manejo de rebanhos leiteiros a pasto.

O uso de espécies animais com hábito alimentar diferentes para manejo de pastagem pode ser uma opção para enfrentar o problema de plantas invasoras. Caprinos são animais com hábito de ramoneio, ou seja, pastejar ramos e folhas (Van Soeste, 1994). Por serem selecionadores intermediários, as cabras podem ser utilizadas, de uma forma ecológica, para enfrentar esse problema, contudo, é necessário o conhecimento sobre a seletividade alimentar e da sua capacidade de prosperar em áreas invadidas dessa espécie (Glasser *et al*, 2014).

A observação direta dos caprinos a pasto pode fornecer estimativas precisas da seleção da dieta (Agreil; Meuret, 2004), entretanto, o método pode ser muito demorado para a construção de um banco de dados suficientemente grande para esclarecer alguns efeitos que se deseja estudar.

Na tentativa de descrever o consumo e a composição botânica e nutricional da dieta de caprinos a pasto (Glasser *et al*, 2014) avaliaram a calibração do fNIR baseada em 43 observações, abrangendo três raças de caprinos compreendendo quatro estações no período de um ano com base em valores de referência determinados com procedimentos de contagem de bocados.

Para calibração do fNIR os dados dietéticos necessários foram coletados em duas etapas. A Primeira etapa os autores observaram individualmente os animais no pasto de forma direta e contínua para determinar o número de bocados por espécie de planta. A segunda fase compreendeu a amostragem de cada espécie para determinação da sua composição.

Para o desenvolvimento da calibração e avaliação da precisão do fNIR, (Glasser *et al*, 2014) usaram os atributos de R², EPC e EPVC para composição dietética em % de MS incluindo o concentrado. Os autores avaliaram as ingestões de CP, FDN, FDA e MS digestível in vitro (MSDI) e PEG.

Para composição botânica os atributos de calibração foram na ordem de 0,77 a 0,89 para R², de 4,3 a 4,9 para EPC e 5,6 a 7,8 para EPVC. As calibrações para os dados de CP, FDN, FDA e MSDI variaram de 0,88 a 0,93 para R², 0,87 a 3,16 para EPC e 0,87 a 4,27 para EPVC, porém o valor encontrado de R² para o PEG foi de 0,73 com EPC = 0,73 e EPVC = 0,88.

Glasser *et al*. (2014) chegaram à conclusão de que os dados do fNIR pode gerar equações para prever a composição botânica e nutricional de pastagens quando consumida por caprinos, mesmo sem a prévio conhecimento dos valores de ingestão de MS.

Ainda assim, a mensuração do consumo e a digestibilidade das dietas de animais a pasto continua sendo um grande desafio, especialmente quando se trata da dieta de animais selecionadores intermediários (Van Soeste, 1994). A medição da composição química, consumo e digestibilidade das forragens é difícil de ser efetuada, uma vez que, a qualidade da dieta selecionada pelos animais pode ter pouca relação com a qualidade da dieta oferecida (Boval *et al.*, 2004).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Kneebone e Dryden (2015) avaliaram a capacidade das equações desenvolvidas a partir de amostras fecais de ovinos por análise química convencional fQUI e por fNIR de prever o consumo e a digestibilidade de dietas a base de forragens com ou sem suplementação a base de ureia, melaço, farelo de algodão e grãos de sorgo. Os autores usaram 25 amostras de dietas e fezes como um conjunto de dados de validação. As regressões para f QUI foram desenvolvidas por regressão stepwise, e as equações de predição de fNIR foram desenvolvidas por regressão parcial de mínimos quadrados.

Nesse estudo (Kneebone; Dryden, 2015) desenvolveram equações de regressão linear para prever as concentrações, em percentual de matéria orgânica (MO), de três parâmetros, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e nitrogênio fecal (NF) e foram utilizados modelos denominados fQUIc e fQUIe.

As equações para consumo e digestibilidade para o modelo fQUIc apresentaram coeficiente de determinação R^2 variando entre 0,43 e 0,52, porém, apresentaram desvios padrão (SD) maiores do que os valores obtidos com as equações desenvolvidas a partir das oito variáveis fQUIe. As equações de calibração para consumo do modelo fQUI alcançaram R^2 aproximadamente 0,9, enquanto, os valores de R^2 para digestibilidade foram na ordem de 0,53-0,58. O método fNIR forneceu as melhores equações de predição com valores R^2 de calibração entre 0,85-0,93.

Com os resultados (Kneebone; Dryden, 2015) concluíram que os modelos fQUI e fNIR apresentaram boas predições para o consumo e a digestibilidade das dietas e são igualmente eficazes, porém, os autores alertaram que os modelos f QUI necessitam da inclusão das medidas de taxa de excreção.

O desafio da pecuária moderna passa pela rapidez das respostas com que os empreendimentos imprimem ao manejo dos animais. Assim, a avaliação rápida da qualidade nutricional das dietas ingeridas por animais a pasto é fundamental para o sucesso da fazenda (Landau *et al.*, 2016).

O valor nutricional da forragem tem um papel importante na eficiência produtiva dos rebanhos sendo considerado fator determinante na implementação das pastagens (Briske *et al.*, 2008). Mensurar o consumo de nutrientes de animais a pasto sempre foi um grande desafio, visto que, a estimativa dos nutrientes da pastagem é geralmente imprecisa possivelmente porque as amostragens raramente apresentam parcelas representativas da dieta dos animais.

Com o objetivo de construir e validar equações de calibração fNIR aplicáveis em condições de fazenda de gado de corte na região do Mediterrâneo Oriental, (Landau *et al.*, 2016) utilizaram um banco de dados para construir dois conjuntos de equações preditivas: um para determinação direta de componentes fecais e outro para predição indireta de composição alimentar, constituído de 125 pares de dietas consumidas e suas fezes associadas, nesse estudo as amostras fecais foram ensaiadas quanto aos componentes: PB, FDN, FDF, CINZAS e LDA.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Os autores verificaram que as calibrações para determinação de CINZAS e PB apresentaram excelente linearidade na relação entre valores preditos de referência $R^2 > 0,90$) e boa precisão com valores de EPVC = 13 e 6 g / kg MS respectivamente.

Landau *et al.*, (2016) observaram que a calibração para FDN das fezes produziu um EPVC de 27 g / kg de DM, além disso os valores elevados de $R^2 = 0,84$ e a razão de EPC e EPVC indicaram que a técnica fNIR apresentou boa precisão indicando que pode ser uma ferramenta útil para prever atributos da dieta de animais a campo. Com os dados obtidos nesse estudo, os autores concluíram que as calibrações fNIR, construídas a partir de amostras fecais e da dieta, são confiáveis para a predição da qualidade dietética das pastagens do Mediterrâneo Oriental e podem auxiliar na tomada de decisão de manejo.

O valor nutritivo das pastagens resulta da seleção pelos animais das espécies vegetais ou partes plantas que compõe o extrato da relva. Essa seleção varia de acordo com estrutura, diversidade, horários de pastejo, requerimento nutricional e também de experiências anteriores de alimentação, além dos hábitos de cada espécie (Meuret; Provenza, 2015).

Silué *et al.*, (2016) com o objetivo de caracterizar o valor nutritivo de pastagens no Sul da França região do Mediterrâneo, testaram com base em estudos anteriores (Bonnet *et al.*, 2015), a hipótese de que a composição vegetal das pastagens pode ser estratificada em categorias nutritivas e aplicadas às diferentes partes de plantas com potencial forrageiro. Partindo da premissa que os animais selecionam partes de plantas baseadas não apenas no conteúdo nutricional, mas também em metabólitos primários e secundários (Meuret e Provenza, 2015), os pesquisadores usaram o NIR para evidenciar toda a gama de informações disponíveis sobre a composição química e classe funcional da amostra estudada.

Silué *et al.* (2016) selecionaram manualmente 245 amostras de partes de plantas, definidas como possíveis bocados realizados pelos ovinos, onde cada amostra estava relacionada com uma determinada espécie de planta e a categoria de bocado.

Os autores selecionaram 30 amostras de um estudo feito por Meuret *et al.*, (1993) e atualizaram em laboratório de referência com base no seu espectro NIR. Na modelagem matemática aplicaram a derivada segunda como forma de pré-tratamento dos dados com a finalidade de normalizar e eliminar o conteúdo distorcido. Para esse estudo (Silué *et al.*, 2016) consideraram os parâmetros: PB, FDN, FDA e LDA proteína.

Baseado no espectro NIR, o estudo classificou a composição química de 7 classes funcionais e apresentaram os resultados em forma de ANOVA. Com essa abordagem os resultados produziram uma descrição heterogênea para as pastagens mediterrâneas e que faz sentido quando se refere ao comportamento alimentar dos animais, ou seja, cada classe funcional fornece compostos específicos, de modo que diferentes combinações de classes dentro de uma dieta mista permitir satisfazer os diferentes requerimentos de nutrientes dos animais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

Silué *et al.* (2016) concluíram que a qualidade nutricional em função dos compostos das pastagens em algumas ocasiões está mais relacionada ao tipo de órgão e atributos estruturais de partes da planta do que a um grupo botânico ou espécie vegetal.

A gestão de propriedades que operam com animais a pasto, necessita de informações atualizadas sobre a composição e o valor nutritivo das dietas consumidas, por isso é importante ter em mãos a avaliação constante da dieta, sobretudo, quando os animais são suplementados com rações concentradas, normalmente de custo elevado, sob baixa disponibilidade de pastagem (Ottavian *et al.*, 2015), dessa forma o fNIR surge como uma boa opção para testar e quantificar a quantidade de forragem e concentrado, bem como, prever a proporção dos ingredientes misturados.

Núñez-Sánchez *et al.*, (2016) utilizaram o fNIR com o objetivo de prever a composição química e o teor de forragem e concentrado nas dietas consumidas por ovelhas a partir da análise de suas fezes. Nesse estudo foi utilizado um conjunto de calibração de 96 amostras fecais de ovelhas alimentadas com 16 dietas diferentes.

Nesse trabalho as estatísticas utilizadas para selecionar os melhores modelos de calibração foram o erro padrão de validação cruzada (EPVC) e o coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2), observando o valor de R^2 mais elevado e SECV mais baixo.

Os autores encontraram bons resultados para as equações de calibração do fNIR obtendo uma boa precisão com valores de $R^2 > 0,9$ e EPVC $< 39\%$ para CINZAS, PB, FDN, carboidratos não fibrosos (CNF), com exceção do modelo para prever a porcentagem de ervilhas consumidas pelas ovelhas que apresentou $R^2 = 0,43$, todos modelos encontrados para predição dos concentrados e forragens também apresentaram boa precisão.

Os autores chegaram à conclusão de que o fNIR pode ser utilizado como método analítico rápido e confiável para monitoramento das dietas de ovelhas confinadas, uma vez que, o estudo proporcionou a criação de uma base de dados de espectros com uma ampla variabilidade de ingredientes e composição química pode ser usada para avaliar os alimentos escolhidos por animais com acesso livre a dietas semelhantes.

4. MÉTODO

Essa revisão sistemática foi conduzida para avaliar a aplicação das tecnologias de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e espectroscopia de reflectância no infravermelho fecal (fNIR) como ferramentas eficazes para o monitoramento nutricional de ruminantes, visando melhorar a eficiência produtiva e a sustentabilidade nos sistemas de produção animal.

Para os trabalhos pesquisados, os critérios de inclusão foram: Tipo de Estudo onde observou-se se o artigo incluía apenas ensaios clínicos, estudos observacionais, revisões anteriores etc. População-Alvo: Onde definimos a população que deveria ser estudada (ex.: tipo de rebanho, aptidão de produção, raça, região de produção). Intervenção: Nesse tema observou-se a aplicabilidade, descrevendo a intervenção que deve ser avaliada (ex.: tipo de alimentos, tratamento, regime de manejo). Desfechos: Nessa etapa foram definidos quais resultados devem ser avaliados (ex.:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

desempenho dos animais, qualidade dos alimentos). Ano de Publicação: procurou-se apresentar trabalho recentes, porém trabalhos clássicos também foram nesse estudo.

Enquanto os critérios de exclusão incluíram Tipo de Estudo: Excluir certos tipos de estudos que não se alinham ao objetivo. Qualidade do Estudo: Excluir estudos que não atendem a um padrão mínimo de qualidade ou que apresentam alto risco de viés. População: Excluir estudos que envolvem populações que não são relevantes para a sua pesquisa. Dados Incompletos: Estudos que não apresentam dados suficientes para análise.

A busca foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science, Google Scholar, Science Direct, Redalyc e SciELO, Agricultural and Environmental Science Database (AESD), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Os dados foram extraídos utilizando um protocolo padronizado e a qualidade dos estudos foi avaliada com PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), apropriada para para revisões sistemáticas e meta-análises.

5. CONSIDERAÇÕES

As tecnologias de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e fecal (fNIR), associadas à quimiometria, demonstram ser ferramentas eficazes para o monitoramento nutricional de ruminantes em confinamento ou em pastagem.

Essas metodologias proporcionam rapidez e precisão na análise da dieta e podem ser amplamente aplicadas na pecuária moderna.

O uso dessas técnicas possibilita uma avaliação contínua da qualidade da alimentação dos animais, permitindo aos produtores uma tomada de decisão mais ágil e respaldada em critérios técnicos, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

A tecnologia NIR possui algumas limitações que ressaltam a importância de usá-la como uma ferramenta complementar, em conjunto com outros métodos de avaliação nutricional, dentre elas cita-se a calibração específica, interferência de componentes, limitações na previsão de nutrientes específicos variabilidade na amostra, dependência de condições ambientais, treinamento e expertise, custo Inicial.

REFERÊNCIAS

AGREIL, C.; MEURET, M. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. **Small Ruminant Research**, v. 54, n. 1, p. 99-113, 2004.

AOAC. **Official methods of analysis**. 14th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1984.

BEN-GERA, I.; NORRIS, K. H. Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 1, p. 64-67, 1968.

BERTRAND, D. La spectroscopie proche infrarouge et ses applications dans les industries de l'alimentation animale. **Productions animales**, v. 15, n. 3, p. 209-219, 2002.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

BOMFIM, M. A. D. NIRS as a tool to determine the nutritional value of native pasture for small ruminants. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 50., 2013. **Anais** [...] 2013. p. 1-11.

BONNET, O. J.; MEURET, M.; TISCHLER, M. R.; CEZIMBRA, I. M.; AZAMBUJA, J. C.; CARVALHO, P. C. Continuous bite monitoring: a method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. **Animal Production Science**, v. 55, n. 3, p. 339-349, 2015.

BOVAL, M.; COATES, D. B.; LECOMTE, P.; DECRUYENAERE, V.; ARCHIMÈDE, H. Faecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 114, n. 1, p. 19-29, 2004.

BRISKE, D. D.; DERNER, J. D.; BROWN, J. R.; FUHLENDORF, S. D.; TEAGUE, W. R.; HAVSTAD, K. M.; WILLMS, W. D. Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. **Rangeland Ecology & Management**, v. 61, n. 1, p. 3-17, 2008.

COATES, D. B. **Faecal NIRS – technology for improving nutritional management of grazing cattle**. Final Report of Project NAP3.121, Meat and Livestock, Australia, Sydney, 2004.

COATES, D. B.; DIXON, R. M. Faecal near infrared reflectance spectroscopy (F. NIRS) measurements of non-grass proportions in the diet of cattle grazing tropical rangelands. **The Rangeland Journal**, v. 29, n. 1, p. 51-63, 2007.

COLEMAN, S. W.; STUTH, J. W.; HOLLOWAY, J. W. Monitoring the nutrition of grazing cattle with near-infrared analysis of feces. **XVI International Grassland Congress**, v. 16, p. 881-882, 1989.

DE BARROS NETO, B.; SCARMINIO I. S.; BRUNS, R. E. 25 anos de quimiometria no Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1401, 2006.

DE BRABANDER, D. **Feeding of dairy cows**. 4. éd. French: Ministère de l' Agriculture, Service Information, 1993. 71 p.

DECRUYENAERE, V.; FROIDMONT, E.; BARTIAUX-THILL, N.; BULDGEN, A.; STILMANT, D. Faecal near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) compared with other techniques for estimating the in vivo digestibility and dry matter intake of lactating grazing dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, n. 3, p. 220-234, 2012.

DECRUYENAERE, V.; LECOMTE, P.; DEMARQUILLY, C.; AUFRERE, J.; DARDENNE, P.; STILMANT, D.; BULDGEN, A. Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. **Animal Feed Science and Technology**, v. 148, n. 2, p. 138-156, 2009.

DIXON, R. M.; COATES, D. B. The use of faecal NIRS to improve nutritional management of cattle in northern Australia. **Recent Advances in Animal Nutrition in Australia**, v. 15, p. 65-75, 2005.

DIXON, R.; COATES, D. Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 17, n. 1, p. 11-31, 2009.

DOVER, J. S.; PHILLIPS, T. J.; ARNDT, K. A. Cutaneous effects and therapeutic uses of heat with emphasis on infrared radiation. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 20, n. 2, p. 278-286, 1989.

DUDZINSKI, M. L.; ARNOLD, G. W. Comparisons of diets of sheep and cattle grazing together on sown pastures on the southern tablelands of New South Wales by principal components analysis. **Crop and Pasture Science**, v. 24, n. 6, p. 899-912, 1973.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

FANCHONE, A.; BOVAL, M.; LECOMTE, P.; ARCHIMÈDE, H. Faecal indices based on near infrared spectroscopy to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 15, n. 2, p. 107, 2007.

FERRÃO, M. F.; DAVANZO, C. U. Horizontal attenuated total reflection applied to simultaneous determination of ash and protein contents in commercial wheat flour. **Analytica Chimica Acta**, v. 540, n. 2, p. 411-415, 2005.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Campinas: Editora Unicamp, 2015.

FOLEY, W. J.; MCILWEE, A.; LAWLER, I.; ARAGONES, L.; WOOLNOUGH, A. P.; BERDING, N. Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy – a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. **Oecologia**, v. 116, n. 3, p. 293-305, 1998.

GLASSER, T.; LANDAU, S.; UNGAR, E. D.; PEREVOLOTSKY, A.; DVASH, L.; MUKLADA, H.; WALKER, J. W. A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 6, p. 1345-1356, 2008.

GONG, H. Y.; BAI, Y.; SONG, R. L.; CHEN, Z. H. The discrimination of Tiegun Yam and Baiyu Yam using near infrared spectroscopy. **China Journal of Hospital Pharmacy**, v. 30, p. 735-737, 2010.

HATTERSLEY, P. W. The distribution of C3 and C4 grasses in Australia in relation to climate. **Oecologia**, v. 57, n. 1-2, p. 113-128, 1983.

HRUSCHKA, W. R. Data analysis: wavelength selection methods. **Near-infrared technology in the agricultural and food industries**, v. 2, 1987.

JOBSIS, F. F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. **Science**, v. 198, n. 4323, p. 1264-1267, 1977.

KNEEBONE, D. G.; DRYDEN, G. McL. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. **Animal Production Science**, v. 55, n. 1, p. 1-10, 2015.

LANDAU, S. Y.; DVASH, L.; ROUDMAN, M.; MUKLADA, H.; BARKAI, D.; YEHUDA, Y.; UNGAR, E. D.; GLASSER, T. Faecal NIRS calibration and equation transfer: application to dietary composition of goats browsing in Mediterranean woodland. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, n. 2, p. 290-304, 2015.

LANDAU, S.; DVASH, L.; DECANDIA, M.; CABIDDU, A.; SHAPIRO, F.; MOLLE, G.; SILANIKOVE, N. Determination of poly (ethylene glycol)-binding to browse foliage, as an assay of tannin, by near-infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 638-642, 2004b.

LANDAU, S.; GIGER-REVERDIN, S.; RAPETTI, L.; DVASH, L.; DORLÉANS, M.; UNGAR, E. D. Data mining old digestibility trials for nutritional monitoring in confined goats with aids of fecal near infra-red spectrometry. **Small Ruminant Research**, v. 77, n. 2, p. 146-158, 2008.

LANDAU, S.; GLASSER, T.; DVASH, L. Monitoring nutrition in small ruminants with the aid of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology: A review. **Small Ruminant Research**, v. 61, n. 1, p. 1-11, 2006.

LANDAU, S.; GLASSER, T.; DVASH, L.; PEREVOLOTSKY, A. Faecal NIRS to monitor the diet of Mediterranean goats. **South African Journal of Animal Science**, v. 34, n. 5, p. 76-80, 2004a.

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

LANDAU, S.; GLASSER, T.; MUKLADA, H.; DVASH, L.; PEREVOLOTSKY, A.; UNGAR, E. D.; WALKER, J. W. Fecal NIRS prediction of dietary protein percentage and in vitro dry matter digestibility in diets ingested by goats in Mediterranean scrubland. **Small Ruminant Research**, v. 59, n. 2, p. 251-263, 2005.

LEARDI, R.; NORGAARD, L. Sequential application of backward interval PLS and genetic algorithms for the selection of relevant spectral regions. **Journal of Chemometrics**, v. 18, p. 486-497.

LEITE, E. R.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free-ranging goats. **Small Ruminant Research**, v. 15, n. 3, p. 223-230, 1995.

LI, H.; TOLLESON, D.; STUTH, J.; BAI, K.; MO, F.; KRONBERG, S. Faecal near infrared reflectance spectroscopy to predict diet quality for sheep. **Small Ruminant Research**, v. 68, n. 3, p. 263-268, 2007.

LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para monitoração da perfusão tecidual. **Revista Brasileira Terapia Intensiva**, v. 23, n. 3, p. 341-351, 2011.

LYONS, R. K.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal of Range Management**, p. 238-244, 1992.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 1989.

MEURET, M.; DARDENNE, P.; BISTON, R.; POTY, O. The use of NIR in predicting nutritive value of Mediterranean tree and shrub foliage. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 1, n. 1, p. 45-54, 1993.

MEURET, M.; PROVENZA, F. D. When art and science meet: integrating knowledge of French herders with science of foraging behavior. **Rangeland Ecology & Management**, v. 68, n. 1, p. 1-17, 2015.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N.; CARRION, D.; BLANCO, F. P.; GARCÍA, V. D.; SIGLER, A. G.; MARTÍNEZ-MARÍN, A. L. Evaluation of botanical and chemical composition of sheep diet by using faecal near infrared spectroscopy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 222, p. 1-6, 2016.

OTTAVIAN, M.; FRANCESCHIN, E.; SIGNORIN, E.; SEGATO, S.; BERZAGHI, P.; CONTIERO, B.; COZZI, G. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on faecal samples from lactating dairy cows to assess two levels of concentrate supplementation during summer grazing in alpine pastures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 202, p. 100-105, 2015.

PERIPOLLI, V.; PRATES, Ê. R.; BARCELLOS, J. O. J.; NETO, J. B. Fecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, n. 2, p. 170-176, 2011.

REICH, G. Near-infrared spectroscopy and imaging: basic principles and pharmaceutical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 57, n. 8, p. 1109-1143, 2005.

RIBEIRO, F. A. L.; BARBOSA, F. D.; BREITKREITZ, M. C.; MARTINS, J. A. Quimiometria: inovação no desenvolvimento e validação de métodos analíticos para controle de qualidade na indústria química. **Informativo CRQ 4ª Região**, n. 85, p. 14-15, 2007.

SHENK, S.; WESTERHAUS, M. O. Near infrared reflectance analysis with single and multiproduct calibrations. **Crop Science**, v. 33, n. 3, p. 582-584, 1993.

SIESLER, H. W.; OZAKI, Y.; KAWATA, S.; HEISE, H. M. Near-infrared spectroscopy: principles, instruments, applications. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2008. cap. 10, p. 1-15.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) APLICADA NO MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES
José André Júnior, Luciana Freitas Guedes, Luiz Felipe Martins Neves, Iran Borges, Carla Fonseca Alves Campos,
Caroliny Costa Araújo, Mário Augusto Vitória, Flávia Luzia Rodrigues Fonseca

SILUÉ, N.; BASTIANELLI, D.; MEURET, M.; HASSOUN, P.; JOUVEN, M. Functional classification by NIRS of plant parts selected by sheep on a shrubby rangeland. **Options Méditerranéennes**, n. 114, p. 71, 2016.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Grass and Forage Science**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

WALKER, J. W.; MCCOY, S. D.; LAUNCHBAUGH, K. L.; FRAKER, M. J.; POWELL, J. Calibrating fecal NIRS equations for predicting botanical composition of diets. **Journal of Range Management**, p. 374-382, 2002.

WILSON, A. D. Comparison of sheep and cattle grazing on a semiarid grassland. **Crop and Pasture Science**, v. 27, n. 1, p. 155-162, 1976.

ZAMORA, P. P.; PONCE, L. C.; NAGATA, N.; POPPI, R. J. Alternativas quimiométricas para a resolução de problemas analíticos clássicos. Determinação espectrofotométrica de misturas de zircônio e háfnio. **Química Nova**, v. 20, n. 5, p. 469-474, 1997.

ZHANG, L. G.; ZHANG, X.; NI, L. J.; XUE, Z. B.; GU, X.; HUANG, S. X. Rapid identification of adulterated cow milk by non-linear pattern recognition methods based on near infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 145, p. 342-348, 2014.