

CAPÍTULO 9

Princípios e potencial da tecnologia NIRS fecal para estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo

Eliana Bordin Dutra, Lucas Biscaglia Miranda, Eduarda Jahnke Kepplin, Rafaela Rorato de Oliveira, Eduardo Bohrer de Azevedo

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-39-8.c9>

Resumo

Metodologias convencionais para obter estimativas nutricionais de ruminantes em pastejo são frequentemente onerosas, invasivas e de difícil aplicação a nível de fazenda. Diante disso, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) aplicada às fezes (fNIRS) surge como uma tecnologia de análise rápida e não invasiva. Essa técnica baseia-se na correlação entre a composição química das fezes e os parâmetros nutricionais da dieta ingerida. Há décadas, a técnica fNIRS é estudada com o intuito de se tornar uma ferramenta prática para técnicos da área. Para a calibração de modelos fNIRS robustos, é recomendável que sejam específicos para cada região, refletindo as condições produtivas e a heterogeneidade da forragem que se deseja representar. Portanto, metodologias para coleta de fezes, desenvolvimento de regressões, pré-processamento espectral e validação devem ser rigorosamente estabelecidos. Uma das limitações para a construção desses modelos é a necessidade de um banco de dados extenso, cujas amostras dependem de experimentos convencionais. Nesse contexto, o desenvolvimento de modelos multiespécie animal, representa uma estratégia promissora para superar a limitação do tamanho amostral e a aplicabilidade da técnica. Portanto, embora a fNIRS demonstra um potencial transformador para a nutrição de precisão em sistemas pastoris, a sua consolidação depende da contínua investigação para expandir e refinar os bancos de dados de calibração, tornando-a uma ferramenta acessível e rotineira no manejo nutricional do rebanho.

Palavras-chave: fezes, forragem, indicador nutricional, infravermelho próximo.

1. Introdução

A produção de ruminantes em sistemas pastoris representa parte expressiva da produção global de carne e leite, caracterizando-se pelo uso eficiente dos recursos naturais e pela sustentabilidade ambiental. No entanto, a

elevada variabilidade das forragens — influenciada por fatores como estágio fenológico, manejo e condições edafoclimáticas — dificulta a obtenção de estimativas precisas de consumo e digestibilidade (Van Soest, 1994; Boval e Dixon, 2012; Azevedo et al., 2024).

Diversas metodologias têm sido utilizadas para avaliação nutricional de ruminantes em pastejo, como o uso de indicadores, ensaios de digestibilidade e simulação de pastejo. Apesar de sua precisão, esses métodos são caros, trabalhosos e de difícil aplicação em uma ampla escala (Carvalho et al., 2007; Dixon e Coates, 2010; Penning, 2004).

Tendo isso em vista, a espectroscopia no infravermelho próximo fecal (fNIRS) surge como uma ferramenta promissora, baseada na correlação entre o espectro característico das amostras de fezes e a composição química da dieta. A técnica permite estimar parâmetros como digestibilidade, proteína bruta da dieta e nitrogênio fecal, de forma rápida, não invasiva e sustentável (Coates e Dixon, 2011; Landau et al., 2016; Tolleson e Angerer, 2021).

Assim, este capítulo tem como objetivo apresentar uma revisão das metodologias convencionais para avaliação nutricional de ruminantes em pastejo. Além de fazer uma discussão sobre os fundamentos, vantagens e limitações da tecnologia fNIRS e abordar o desenvolvimento e potencial de modelos de calibração multiespécies, que ampliam a aplicabilidade dessa ferramenta em sistemas produtivos diversos.

2. Parâmetros nutricionais de ruminantes em pastejo

O manejo alimentar de ruminantes é baseado principalmente em forragem, sejam cultivadas ou nativas, caracterizando-se por elevada variabilidade em sua composição química e valor nutricional (Van Soest, 1994). Aspectos bióticos como o estágio fenológico da cultura e fatores abióticos como fertilidade do solo, manejo da forragem e condições edafoclimáticas influenciam diretamente a variabilidade nutricional dos alimentos. Tais fatores intensificam a variabilidade dos sistemas forrageiros, dificultando a obtenção de estimativas precisas de parâmetros nutricionais da dieta de ruminantes, especialmente consumo e digestibilidade (Azevedo et al., 2024; Boval e Dixon, 2012).

Desta forma, o uso das fezes como indicador nutricional ganha relevância nas pesquisas pela praticidade e facilidade de coleta de amostras. Esta abordagem auxilia especialmente quando consideramos que o consumo voluntário e a digestibilidade formam base fundamentais na nutrição animal. Os dois fatores podem ser compreendidos como a relação com a capacidade de atender às demandas nutricionais de manutenção e produção (consumo voluntário) e a eficiência do aproveitamento dos nutrientes ingeridos (digestibilidade) (Carvalho et al., 2007). Tradicionalmente, a estimativa dos parâmetros nutricionais é realizada através do uso de indicadores internos e externos, métodos consolidados na literatura (Moura et al., 2013). Porém, tais técnicas apresentam entraves relacionados a custos elevados, necessidade de manipulação de animais, logística de coleta, demanda de mão de obra especializada e análises laboratoriais onerosas (Dixon e Coates, 2010).

Da mesma forma, a avaliação da concentração de proteína bruta na dieta (cPBd), parâmetro essencial aos processos fisiológicos de crescimento, manutenção e produção, também enfrenta desafios metodológicos (Carvalho et al., 2021). O método convencional, conhecido como simulação de pastejo, baseia-se na observação do comportamento ingestivo dos animais e na coleta de amostras representativas do material consumido (Halls, 1954; Cook, 1964). Por depender de julgamento subjetivo, a acurácia do método está condicionada ao treinamento adequado dos avaliadores, o que é determinante para garantir a representatividade e a qualidade das amostras (Bonnet et al., 2011).

A análise do nitrogênio (N) fecal tem se destacado como alternativa eficiente para a avaliação nutricional de ruminantes em pastejo, por apresentar correlação com o consumo e a digestibilidade (Lancaster, 1949; Peripolli et al., 2011). Além de permitir coletas pontuais e não invasivas, o método possibilita estimar a digestibilidade por meio de modelos regionais já consolidados (Wang et al., 2009; Azevedo et al., 2014). Contudo, a estimativa precisa do consumo ainda requer a determinação da excreção fecal (Savian et al., 2018). Em contraste, os ensaios de digestibilidade in vivo fornecem medições diretas dos parâmetros nutricionais, mas demandam infraestrutura específica e apresentam custos elevados, além de alterarem o comportamento natural de pastejo dos animais (Penning, 2004).

3. NIRS fecal na estimativa de parâmetros nutricionais de ruminantes em pastejo

3.1. Princípio da tecnologia NIRS, obtenção dos espectros e pré-processamentos

Considerando as limitações para obter estimativas de parâmetros nutricionais de ruminantes em pastejo, especialmente devido à heterogeneidade das forragens, a tecnologia de espectroscopia no infravermelho próximo fecal (fNIRS) surge como uma ferramenta promissora para a área (Coates e Dixon, 2011; Peters et al., 2023). O potencial de uso das fezes aliado a tecnologia NIRS diz respeito a facilidade para obter as amostras, assim como pelo fato de que aproximadamente 70% da variação entre animais no consumo e digestibilidade pode ser explicada através deste produto do processo digestivo (Holloway et al., 1981). Como vantagem do uso da fNIRS, destacam-se a rápida leitura das amostras, possibilitando a realização de ajustes nutricionais em um menor tempo, trata-se de uma metodologia não invasiva, pois a partir de coletas pontuais de fezes é possível realizar a leitura das amostras para estimativas nutricionais, além de dispensar o uso de reagentes químicos (Lyons e Stuth, 1992; Rossa et al., 2025; Tolleson e Angerer, 2021). Porém, para que seja possível utilizar essa ferramenta a nível de campo, com segurança e precisão, é necessário realizar a calibração do equipamento, a partir de amostras obtidas em experimentos com animais recebendo forragem, construindo modelos robustos e representativos da heterogeneidade do sistema produtivo que se quer representar (Landau et al., 2016).

A tecnologia NIRS trata-se de uma técnica analítica que utiliza radiação eletromagnética na faixa de 780 a 2500 nm. Quando uma amostra é submetida a leitura em NIRS a luz interage com as ligações químicas das moléculas, especialmente com C-H, O-H e N-H, gerando um espectro característico que atua como um indicador único da sua composição molecular. O princípio físico utilizado pelo equipamento NIRS para amostras sólidas e heterogêneas, como no caso das fezes, é a reflectância difusa. O equipamento emite luz com intensidade conhecida (I_0) e mede a intensidade refletida (I) pela amostra. A reflectância ($R = I/I_0$) é então convertida em absorbância (A) através da relação

$A = \log_{10}(1/R)$, fornecendo informações sobre a interação da luz com a amostra em comprimentos de onda específicos (Williams e Norris, 2001).

A partir da condução de experimentos e obtenção das amostras de fezes, inicia-se a construção dos modelos de regressão multivariada para análise via NIRS, onde o primeiro passo consiste na aquisição dos espectros NIRS, seguida pela aplicação de metodologias quimiométricas. A regressão por Partial Least Squares (PLS) é a metodologia convencionalmente empregada, que correlaciona os dados espectrais com os valores de referência obtidos por métodos analíticos convencionais (Martens e Naes, 1992). Uma etapa crítica no processo de calibração trata-se do pré-processamento espectral, que tem como objetivo minimizar interferências, como ruídos instrumentais, heterogeneidade das partículas, ou variações resultantes da umidade. Metodologias como Standard Normal Variate (SNV), Extended Multiplicative Scatter Correction (EMSC), Detrending (DET), Savitsky-Golay (SG) e derivadas são comumente empregadas, isoladamente ou em diferentes combinações (Engel et al., 2013). A seleção dos pré-processamentos e combinações mais adequados para cada variável de interesse é guiada por parâmetros estatísticos como: coeficiente de determinação (R^2), root mean square error (RMSE) e relative predict error (RPE) (Williams, 2004; Fuentes-Pila et al., 1996).

3.2. Metodologias de validação dos modelos fNIRS

Posterior a essa etapa de calibração do equipamento NIRS, deve ser realizada a validação dos modelos desenvolvidos. O objetivo da fase de validação é avaliar a capacidade preditiva dos modelos em estimar os parâmetros nutricionais de interesse, e para isso, pode ser aplicada validação interna ou externa, dependendo do tamanho do conjunto de dados disponível (Dias, Nunes e Borba, 2024). A validação interna ou cross-validation (CV) tem como objetivo usar grupos de amostras ou amostras individuais na validação. A CV do tipo leave-one-out, consiste na remoção de uma amostra por vez do modelo, o modelo é ajustado e validado a partir dessa amostra excluída, e o procedimento se repete até que todas as amostras tenham sido utilizadas para validação (Lopez et al., 2023).

Enquanto isso, na CV leave-one-group as amostras são organizadas em grupos distintos com base em características compartilhadas, como, por exemplo, locais de amostragem. Nessa metodologia, grupos inteiros são deixados de fora e usados como conjunto de validação a cada ajuste do modelo, preservando as características inerentes dos grupos e permitindo avaliar a variabilidade interamostras. Em contrapartida, a CV k-fold é uma metodologia onde o conjunto de dados é dividido aleatoriamente em k subconjuntos de tamanhos iguais, sendo o modelo treinado e validado k vezes, ou seja, o processo é repetido até que todos os subconjuntos tenham sido utilizados na validação. Essa abordagem é utilizada devido a sua flexibilidade e simplicidade, especialmente quando os dados não são agrupados naturalmente (Ezenarro e Schorn-García, 2025; Lopez et al., 2023).

Também é possível realizar validação externa, a partir de um conjunto de dados independentes ou através da separação de subconjuntos amostrais, onde essa metodologia é usualmente aplicada quando há maior disponibilidade de dados. A validação externa a partir de um conjunto de dados independentes, ou seja, por meio de dados totalmente separados do processo de calibração, garante que a avaliação de desempenho do modelo reflita sua capacidade de prever novas amostras, sendo esse o “padrão ouro” de validação (Leite e Stuth, 1995; Ezenarro e Schorn-García, 2025).

Entretanto, quando há limitações na disponibilidade de dados, é possível dividir o banco amostral em subconjuntos de calibração e validação, garantindo que o conjunto de validação seja representativo. O tamanho do subconjunto de validação é definido pela equipe, geralmente os trabalhos utilizam de 20 a 30% dos dados para essa etapa (Martens e Naes, 1992; Johnson et al., 2017; Ezenarro e Schorn-García, 2025). Essas estratégias permitem verificar a robustez e a aplicabilidade dos modelos, assegurando sua confiabilidade preditiva. Cabe destacar que uma validação insuficiente pode ter implicações práticas, incluindo decisões equivocadas e perdas econômicas.

3.3 Desenvolvimento da tecnologia fNIRS para estimativas nutricionais de ruminantes

A técnica NIRS é bem estabelecida e utilizada em diversos setores, tais como agricultura (Carvalho et al., 2022), alimentos (Ferreira et al., 2023; Trópia et al., 2024), controle de qualidade de insumo (Santos et al., 2025) e até mesmo em indústrias do ramo petrolífero (Yu et al., 2022). Na área de nutrição de ruminantes, os primeiros trabalhos foram desenvolvidos por Brooks, Anderson e Urness (1984) e tiveram maior aprofundamento a partir dos trabalhos do Dr. Jerry Stuth (Texas A&M University, EUA) e Dr. David Coates (CSIRO, Austrália), com foco em parâmetros nutricionais como digestibilidade e proteína da dieta. Desde então a tecnologia vem sendo estudada e desenvolvida, com ênfase na construção de modelos para estimativa de consumo voluntário (Parra-Forero et al., 2023; Graças, 2021), digestibilidade (Boval et al., 2004; Peters et al., 2023), proteína da dieta (Johnson et al., 2017; Tolleson e Schafer, 2014), nitrogênio fecal (Xu et al., 2023; Decruyenaere et al., 2012) e frações fibrosas (Landau et al., 2016; Rossa et al., 2025).

O uso do fNIRS para estimativa de parâmetros da dieta apresenta grande potencial, pois permite a realização de análises em larga escala, com rápida resposta, menor intervenção animal e redução de custos (Stuth, Jama, Tolleson, 2003). No entanto, é fundamental destacar as lacunas e fatores que limitam o desenvolvimento da tecnologia. A composição das fezes dos ruminantes varia significativamente devido à diversidade e complexidade de fatores que influenciam o consumo voluntário, somada a alta heterogeneidade de sistemas alimentares e espécies forrageiras existentes (Decruyenaere et al., 2015). Dessa forma, a construção de modelos robustos exige bancos amostrais regionais representativos, devendo a calibração refletir a heterogeneidade específica de cada sistema produtivo, visando agregar precisão e robustez (Tolleson et al., 2025).

Ademais, outro fator crucial no desenvolvimento da tecnologia fNIRS se trata da metodologia de obtenção das amostras. Na literatura é possível encontrar calibrações construídas a partir de amostras obtidas por meio de coletas pontuais de fezes, coletas pontuais combinadas com coletas via fístula esofágica, coleta de fezes com auxílio de bolsas coletoras, com uso de

indicadores fecais e também via ensaios de digestibilidade in vivo. Cabe mencionar que todas as metodologias apresentam pontos positivos e negativos, porém deve-se considerar a importância da etapa de aquisição das amostras, tendo em vista que irão compor a calibração. Erros associados a fase experimental, ou até mesmo laboratorial, podem colaborar com erros inseridos nos modelos, dessa forma, a tomada de decisão sobre a metodologia de coleta constitui uma etapa fundamental no desenvolvimento da ferramenta.

Levando em consideração o desenvolvimento da tecnologia fNIRS na estimativa de parâmetros nutricionais de ruminantes, selecionamos 29 trabalhos desenvolvidos de 1992 a 2025, apresentados no Quadro 1. O tamanho do banco de dados utilizado na construção dos modelos variou de 44 amostras até 2068. Do total de trabalhos selecionados, 25 desenvolveram calibrações para uma única espécie animal, sendo 16 de bovinos, oito de ovinos e um de caprinos, e apenas quatro construíram modelos multiespécie. Quanto à metodologia para obtenção das amostras de fezes, 18 trabalhos obtiveram as amostras de forma pontual, coletando diretamente da ampola retal ou do solo e 11 trabalhos realizaram coleta total de fezes. E para validação dos modelos desenvolvidos, seguindo os conceitos de cross-validation e validação externa, foram realizadas cross-validation em 24 trabalhos e validação externa em 18 trabalhos.

4. Modelos fNIRS multiespécies para estimativas nutricionais em ruminantes

Levando em consideração o potencial da tecnologia fNIRS para estimar os parâmetros nutricionais da dieta por meio dos componentes fecais, uma das principais limitações se refere ao tamanho do banco de dados, o que impacta diretamente a robustez dos modelos preditivos (Dias, Nunes, Borba, 2024). Devido a heterogeneidade dos sistemas forrageiros, aliada às dificuldades para o desenvolvimento de estudos com ruminantes, especialmente para a condução de ensaios de digestibilidade, a construção de modelos multiespécies surge como uma alternativa para contornar bancos amostrais limitados, ampliando assim a representatividade dos modelos preditivos (Dixon e Coates, 2009; Rossa et al., 2025).

Estudos prévios destacam o potencial de equações multiespécies via N fecal para estimar a digestibilidade, abrangendo diferentes espécies e dietas, com resultados satisfatórios. Lukas et al. (2005) desenvolveram um modelo baseado na correlação com N fecal, utilizando amostras provenientes de vacas leiteiras e novilhos alimentados com dietas variadas. Esse modelo foi validado por Schlecht e Susenbeth (2006) utilizando amostras de bovinos, ovinos e caprinos, demonstrando que a espécie animal não afetou a precisão das estimativas, embora o tipo de alimento tenha influenciado. De modo similar, Kozloski et al. (2018) elaboraram uma equação a partir de amostras de ovinos e bovinos para estimar consumo, sem influência de espécie animal. Barreto et al. (2024) também obtiveram desempenho satisfatório em modelos multiespécies para estimar consumo e digestibilidade.

Entretanto, ainda há escassez de pesquisas desenvolvendo modelos multiespécies utilizando fNIRS para estimativas nutricionais. Villamuelas et al. (2017) geraram calibrações para N fecal com amostras de diversas espécies herbívoras, enquanto Tolleson e Angerer (2021) desenvolveram modelos para N e fósforo fecais. Rossa et al. (2025), por sua vez, estabeleceram calibrações para frações da fibra fecal de herbívoros. Todos estes trabalhos citados anteriormente obtiveram resultados satisfatórios para os seus modelos multiespécie. Ademais, trabalhos construindo calibrações NIRS utilizando diferentes fontes de alimentos para ruminantes são comuns de serem encontrados na literatura, porém sem avançar para a elaboração de modelos multiespécie (Foskolos et al., 2015; Decruyenaere et al., 2009; Parra-Forero et al., 2023; Andueza et al., 2017).

Assim, diante da heterogeneidade dos sistemas forrageiros e da variabilidade natural entre as espécies animais, a construção de modelos multiespécies pode fortalecer a robustez dos modelos, preenchendo lacunas presentes nos bancos de dados e melhorando assim a representatividade das condições estudadas. Outra vantagem se encontra na fase experimental, já que o uso de pequenos ruminantes reduz os custos de pesquisa, devido a necessidade de menores quantidades de alimento, infraestrutura mais simples e menor mão de obra, além de permitir maior tamanho amostral quando comparado a experimentos realizados com bovinos.

Quadro 1. Trabalhos de pesquisa sobre fNIRS na estimativa de parâmetros nutricionais de ruminantes

(Continua)

Tipo de trabalho	Autores	Ano	País	N amostral	Espécie animal	Metodologia de coleta	Forragem	Variáveis	Validação
Artigo de pesquisa	Lyons; Stuth	1992	Estados Unidos	54	Bovinos	Coleta pontual de fezes. Uso de animais fistulados	Diversas espécies forrageiras	DMO ¹ e PB ²	Validação externa
Artigo de pesquisa	Leite; Stuth	1995	Estados Unidos	163; 86	Caprinos	Coleta pontual de fezes. Coleta via fístula esofágica. Digestibilidade e <i>in vitro</i>	Campo nativo do Texas, <i>Claypan Savannah</i>	DMO e PB	Validação externa com dados independentes
Artigo de pesquisa	Boval <i>et al.</i>	2004	França	88	Bovinos	Coleta total de fezes. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	<i>Dichanthium</i> spp. e <i>Digitaria decumbens</i>	Parâmetros da dieta: PB, FDN ³ , FDA ⁴ , DMO e CMO ⁵	<i>Cross-validation k-fold</i>
Artigo de pesquisa	Coates; Dixon	2007	Austrália	1501	Bovinos	Coleta pontual de fezes, via ampola retal e diretamente do solo	Diversas espécies forrageiras	Proporção de não gramíneas	<i>Cross-validation</i>
Artigo de pesquisa	Fanchone <i>et al.</i>	2007	França	84	Ovinos	Coleta total de fezes. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	<i>Digitaria decumbens</i>	Composição da dieta: PB, FDN, FDA, LDA ⁶ . Parâmetros da dieta: CMO, DMO	<i>Cross-validation k-fold</i>
Artigo de pesquisa	Coates; Dixon	2008	Austrália	1637	Bovinos	Coletas pontual de fezes, via ampola retal e diretamente do solo. Simulação de pastejo	Diversas espécies forrageiras	Proporção de não gramíneas	<i>Cross-validation</i> e validação a partir da expansão sequencial dos dados da calibração
Artigo de pesquisa	Fanchone; Archimède; Boval	2009	França	174	Ovinos	Coleta total de fezes. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	<i>Digitaria decumbens</i>	DMO	<i>Cross-validation k-fold</i> . Validação externa com dados independentes

Artigo de pesquisa	Decruynaere <i>et al.</i>	2009	França e Bélgica	2068	Ovinos	Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	Diversas espécies forrageiras	DMO e CMO	Cross-validation
Artigo de pesquisa	Coates; Dixon	2011	Austrália	1052	Bovinos	Coleta pontual de fezes. Coleta total de fezes. Digestibilidade e <i>in vitro</i>	Diversas espécies forrageiras	DMS ⁷	Validação

(Continua)

Tipo de trabalho	Autores	Ano	País	N amostral	Espécie animal	Metodologia de coleta	Forragem	Variáveis	Validação
Artigo de pesquisa	Decruynaere <i>et al.</i>	2012	Bélgica	44	Bovinos	Coleta pontual de fezes via ampola retal. Ensaio em pastejo, utilizando marcador externo	Pastejo com suplementação	Parâmetros da dieta: MM ⁸ , PB, celulose, DMO; Composição das fezes: MM, PB, FDA	Cross-validation
Artigo de pesquisa	Tolleson ; Schafer	2014	Estados Unidos		Bovinos	Coleta pontual de fezes diretamente do solo	Diversas espécies forrageiras	ECC ⁹	Cross-validation
Artigo de pesquisa	Decruynaere <i>et al.</i>	2015	Bélgica		Ovinos e bovinos	Ensaio de digestibilidade e	Diversas espécies forrageiras	Parâmetros da dieta: DMO, CMS, CMO	Cross-validation e validação externa com dados independentes
Artigo de pesquisa	Landau <i>et al.</i>	2016	Israel	125	Bovinos	Coleta pontual de fezes via ampola retal	Diversas espécies forrageiras com inclusão de suplementação	Composição das fezes, da dieta e consumo de nutrientes	Cross-validation k-fold e validação externa
Artigo de pesquisa	Núñez-Sánchez <i>et al.</i>	2016	Espanha	96	Ovinos	Coleta pontual de fezes via ampola retal. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	Dietas heterogêneas	Composição da dieta: MM, PB, FDN, EE ¹⁰ e alimentos da dieta	Cross-validation leave-one-group
Artigo de pesquisa	Landau <i>et al.</i>	2017	Israel		Bovinos	Coleta pontual de fezes diretamente do solo. Coleta de amostras da forragem	Vegetação <i>hemicryptophytic grassland</i> com inclusão de suplementação	Fezes: MM, PB, FDN; Forragem: MM, PB, FDN, DIVMS ¹¹ e energia	Cross-validation. Validação externa com dados independentes

								metabolizável. Proporção de concentrado na dieta	
Artigo de pesquisa	Andueza <i>et al.</i>	2017	França	1040	Ovinos	Coleta total de fezes	Diversas espécies forrageiras	Composição das fezes: MM e PB; Parâmetros da dieta: CMS e DMO	<i>Cross-validation k-fold.</i> Validação externa a partir da separação de um subconjunto de dados

(Continua)

Tipo de trabalho	Autores	Ano	País	N amostral	Espécie animal	Metodologia de coleta	Forragem	Variáveis	Validação
Artigo de pesquisa	Villamuelas <i>et al.</i>	2017	Espanha, França, Portugal, Itália e Suíça	345	Diversos herbívoros, domésticos e selvagens	Coleta pontual de fezes via ampola retal e diretamente do solo	Espanha, Portugal, Itália e França	Composição das fezes: N ¹²	<i>Cross-validation leave-one-out.</i> Validação externa a partir de um subconjunto (20%) e independente
Artigo de pesquisa	Johnson <i>et al.</i>	2017	Estados Unidos	408	Bovinos	Coleta total de fezes	Dietas heterogêneas	Composição da dieta: PB, FDN, DMS, CMS ¹³	<i>Cross-validation leave-one-group.</i> Validação externa a partir de um subconjunto (20%)
Artigo de pesquisa	Gindri <i>et al.</i>	2019	Brasil	63	Ovinos	Coleta total de fezes. Fístula ruminal. Simulação de pastejo. Digestibilidade e <i>in situ</i> . Consumo via N fecal	Campo nativo do Bioma Pampa	PB e DMO	<i>Cross-validation k-fold.</i> Validação externa com dados independentes
Dissertação	Daniel Martins de Oliveira	2019	Brasil	270	Bovinos	Coleta total de fezes. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>	Parâmetros da dieta: PB, FDN, MO ¹⁴ ; Digestibili	<i>Cross-validation leave-one-out.</i> Validação externa a

								dade: PB, FDN, MO	partir de um subconjunto de dados
Dissertação	Igor Cassiano Saraiva Silva	2020	Brasil	120	Ovinos	Coleta pontual de fezes. Simulação de pastejo. Digestibilidade e <i>in vitro</i>	<i>Panicum maximum</i> , cv. Mombaça, suplementação	Parâmetros da dieta: PB e DIVMS	Cross-validation. Validação externa a partir de um subconjunto (25%)
Dissertação	Larissa Estefane Cruz das Graças	2021	Brasil	234	Bovinos	Coleta total de fezes	Ração total misturada	Parâmetros da dieta: CMS, MS ¹⁵ , PB, FDN, amido; digestibilidade	Cross-validation k-fold
Artigo de pesquisa	Tolleson ; Angerer	2021	Estados Unidos	512	Diversos herbívoros, domésticos e selvagens	Coleta pontual diretamente do solo	Território dos EUA e Havaí	Composição das fezes: N e P ¹⁶	Cross-validation k-fold e leave-one-group. Validação externa com dados independentes (Conclusão)

Tipo de trabalho	Autores	Ano	País	N amostral	Espécie animal	Metodologia de coleta	Forragem	Variáveis	Validação
Artigo de pesquisa	Parra-Forero <i>et al.</i>	2023	Colômbia	57	Bovinos	Utilização de marcadores fecais internos e externos. Simulação de pastejo	Forragens heterogêneas; uso de suplementação	DMS, CMS e produção fecal	Cross-validation leave-one-out. Validação externa a partir de um subconjunto (20%)
Artigo de pesquisa	Peters <i>et al.</i>	2023	Canadá	186	Bovinos	Coleta total de fezes e coleta pontual em situação de pastejo. Ensaio de digestibilidade e <i>in vivo</i>	Dietas heterogêneas e em pastejo de forrageiras heterogêneas	Composição fecal: MO, N, FDN, FDA, Ca ¹⁷ , P; Parâmetros da dieta: CMS, CMO, DMS e DMO	Validação externa a partir de um subconjunto (20%)

Artigo de pesquisa	Molle <i>et al.</i>	2023	Itália		Ovinos	Coleta total de fezes e pontual via ampola retal. Ensaio de digestibilidade <i>in vivo</i> e ensaios em pastejo. Simulação de pastejo	Dietas heterogêneas e em pastejo de forrageiras heterogêneas, com suplementação	Diversos parâmetros da dieta, digestibilidade de nutrientes e composição	Cross-validation <i>k fold</i> . Validação externa a partir de um subconjunto (25%)
Artigo de pesquisa	Xu <i>et al.</i>	2023	China	542	Bovinos	Coleta pontual de fezes via ampola retal, em diferentes fazendas	Ração total misturada e leite integral	Composição das fezes: MS, PB, EE, FDN, FDA, MM, amido	Cross-validation <i>k-fold</i> . Validação externa a partir de um subconjunto (25%)
Artigo de pesquisa	Rossa <i>et al.</i>	2025	Portugal, Espanha, Alemanha, França, Itália e Suíça	508	Diversos herbívoros, domésticos e selvagens	Coleta pontual de fezes via ampola retal e diretamente do solo	Portugal, Itália, França, Suíça, Espanha	FDN, FDA, LDA	Validação externa a partir de um subconjunto (20%) e com dados independentes
Artigo de pesquisa	Tolleson <i>et al.</i>	2025	Estados Unidos		Bovinos	Coleta pontual de fezes	Pastagem nativa do Texas	Parâmetros da dieta: PB, ECC	Cross-validation

¹ Digestibilidade da matéria orgânica; ² Proteína bruta da dieta; ³ Fibra em detergente neutro; ⁴ Fibra em detergente ácido; ⁵ Consumo de matéria orgânica; ⁶ Lignina em detergente ácido; ⁷ Digestibilidade da matéria seca; ⁸ Matéria mineral; ⁹ Escore de condição corporal; ¹⁰ Extrato Etéreo; ¹¹ Digestibilidade *in vitro* da matéria seca; ¹² Nitrogênio; ¹³ Consumo de matéria seca; ¹⁴ Matéria orgânica; ¹⁵ Matéria seca; ¹⁶ Fósforo; ¹⁷ Cálcio.

5. Considerações finais

A avaliação nutricional de ruminantes em pastejo representa um desafio contínuo para pesquisadores e técnicos, devido à elevada variabilidade dos sistemas forrageiros e às limitações metodológicas associadas às técnicas convencionais. Métodos como a coleta total de fezes, o uso de indicadores e os ensaios de digestibilidade, embora precisos, são de difícil aplicação em larga escala por exigirem elevada complexidade operacional, alto custo e tempo considerável de execução (Dixon e Coates, 2010; Penning, 2004). Nesse contexto, a espectroscopia no infravermelho próximo fecal (fNIRS) surge como uma alternativa inovadora e promissora, permitindo estimativas rápidas, não invasivas e economicamente viáveis de parâmetros nutricionais fundamentais,

como a digestibilidade, o consumo voluntário e a composição da dieta (Peters *et al.*, 2023; Molle *et al.*, 2023).

Os avanços recentes na calibração e validação de modelos fNIRS têm demonstrado a capacidade da técnica em gerar resultados consistentes, desde que as calibrações sejam representativas e devidamente ajustadas às condições regionais e às características das amostras (Landau *et al.*, 2016; Dias, Nunes, Borba, 2024). Além disso, o desenvolvimento de modelos multiespécies amplia as possibilidades de aplicação da ferramenta, tornando-a mais robusta e abrangente frente à heterogeneidade dos sistemas produtivos e das dietas dos ruminantes (Villamuelas *et al.*, 2017; Rossa *et al.*, 2025).

Dessa forma, a fNIRS consolida-se como uma ferramenta estratégica para o futuro da pesquisa e do manejo nutricional em sistemas pastoris. Sua adoção pode contribuir significativamente para o aprimoramento da eficiência alimentar, a redução de custos experimentais e a sustentabilidade da produção animal (Stuth, Jama, Tolleson, 2003; Peters *et al.*, 2023). O avanço contínuo das pesquisas nessa área, com ênfase na ampliação de bancos de dados e na integração de técnicas quimiométricas mais sofisticadas, será determinante para consolidar a fNIRS como um método de referência na avaliação nutricional de ruminantes em pastejo.

6. Referências bibliográficas

- ANDUEZA, Donato *et al.* Fecal near-infrared reflectance spectroscopy prediction of the feed value of temperate forages for ruminants and some parameters of the chemical composition of feces: efficiency of four calibration strategies. **Applied Spectroscopy**, v. 71, n. 9, jun. 2017. <https://doi.org/10.1177/0003702817712740>.
- AZEVEDO, Eduardo Bohrer *et al.* Nutritional characteristics estimated by faecal protein in cattle fed with heterogeneous natural grassland. **Animal Production Science**, v. 64, AN22418, jan. 2024. <https://doi.org/10.1071/AN22418>.
- AZEVEDO, Eduardo Bohrer *et al.* Use of faecal components as markers to estimate intake and digestibility of grazing sheep. **Livestock Science**, v. 165, p. 42–50, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.018>.

- BARRETO, Mariana *et al.* Can a cattle and sheep mixed model based on fecal crude protein estimate the feed intake and digestibility. [Preprint]. 2024. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4766552>.
- BONNET, Olivier *et al.* Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? **Rangeland Ecology & Management**, v. 64, p. 366–374, jul. 2011. <https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00186.1>.
- BOVAL, Maryline; DIXON, Robert. The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 748–762, fev. 2012. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000304>.
- BOVAL, Maryline *et al.* 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. 1–4, p. 19–29, maio 2004. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.009>.
- BROOKS, J.; ANDERSON, M.; URNESS, P. J. Infrared reflectance analysis of forage quality for elk. **Journal of Wildlife Management**, v. 48, p. 254–258, 1984.
- CARVALHO, Chrislanne *et al.* Methods of analysis of the chemical composition and nutritional value of ruminant feeds. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e523101019047, ago. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.19047>.
- CARVALHO, Jacques *et al.* Combining different pre-processing and multiplicative methods for prediction of soil organic matter by near infrared spectroscopy (NIRS) in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 29, jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00530>.
- CARVALHO, Paulo *et al.* Advances in methods for determining animal intake on pasture. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 151–170, jul. 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000016>.
- COATES, David Blair; DIXON, Robert. Developing robust faecal near infrared spectroscopy calibrations to predict diet dry matter digestibility in cattle consuming tropical forages. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, n. 6, p. 507–519, 2011. <https://doi.org/10.1255/jnirs.967>.
- COATES, David Blair; DIXON, Robert. Development of near infrared analysis of faeces to estimate non-grass proportions in diets selected by cattle grazing tropical pastures. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 16, p. 471–480, 2008. <https://doi.org/10.1255/jnirs.815>.
- COATES, David Blair; Dixon, Robert. 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. <https://doi.org/10.1071/RJ07011>.

- COOK, Wayne. Symposium on nutrition of forages and pastures: collecting forage samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 23, n. 1, p. 265–270, fev. 1964. <https://doi.org/10.2527/jas1964.231265x>.
- DECRUYENAERE, Virginie *et al.* 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. 2–4, p. 138–156, jan. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.03.007>.
- DECRUYENAERE, Virginie *et al.* 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. 3–4, p. 220–234, maio 2012. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.02.005>.
- DECRUYENAERE, Virginie *et al.* Prediction error and repeatability of near infrared reflectance spectroscopy applied to faeces samples in order to predict voluntary intake and digestibility of forages by ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 205, p. 49–59, jul. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.011>.
- DIAS, Cristiana Maduro; NUNES, Helder; BORBA, Alfredo. Near-infrared spectroscopy in animal nutrition: historical insights, technical principles, and practical applications. **Analytica**, v. 5, n. 4, p. 481–498, out. 2024. <https://doi.org/10.3390/analytica5040033>.
- DIXON, Robert; COATES, David Blair. Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 17, n. 1, jan. 2009. <https://doi.org/10.1255/jnirs.822>.
- DIXON, Robert; COATES, David Blair. Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and responses to N supplementation by cattle grazing buffel grass pastures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 158, n. 3–4, p. 115–125, jun. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.04.002>.
- ENGEL, Jasper *et al.* Breaking with trends in pre-processing? **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 50, p. 96–106, out. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.04.015>.
- EZENARRO, Jokin; SCHORN-GARCÍA, Daniel. How are chemometric models validated? A systematic review of linear regression models for NIRS data in food analysis. **Journal of Chemometrics**, v. 39, n. 6, maio 2025. <https://doi.org/10.1002/cem.70036>.
- FANCHONE, A *et al.* Comparison of fecal crude protein and fecal near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 1, p. 236–243, jan. 2009. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0817>.

- FANCHONE, A *et al.* Faecal indices based on near infrared spectroscopy to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep (crude protein, fibres and lignin content). **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 15, p. 107-113, 2007. <https://doi.org/10.1255/jnirs.720>.
- FERREIRA, Marcus *et al.* Determination of pitaya quality using portable NIR spectroscopy and innovative low-cost electronic nose. **Scientia Horticulturae**, v. 310, fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111784>.
- FUENTES-PILA, Joaquin *et al.* Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 9, p. 1562–1571, set. 1996. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(96\)76518-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(96)76518-9).
- GINDRI, Marcelo *et al.* Comparison of methods to estimate crude protein and digestible organic matter content of diets ingested by free-ranging sheep. **Small Ruminant Research**, v. 178, p. 37-42, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.06.023>.
- GRAÇAS, Larissa. Espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo de fezes para prever variáveis nutricionais de vacas leiteiras confinadas. Dissertação de Mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2021.
- HALLS, Lowell. The approximation of cattle diet through herbage sampling. **Journal of Range Management**, v. 7, n. 6, p. 269–270, 1954.
- HOLLOWAY, John. Relationship between fecal components and forage consumption and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 4, p. 836–848, abr. 1981. <https://doi.org/10.2527/jas1981.524836x>.
- JOHNSON, John *et al.* Application of fecal near-infrared reflectance spectroscopy profiling for the prediction of diet nutritional characteristics and voluntary intake in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 1, p. 447–454, jan. 2017. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.0845>.
- KOZLOSKI, Gilberto *et al.* Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 3, p. 443–449, abr. 2018. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000412>.
- LANCASTER, R. Estimation of digestibility of grazed pasture from faeces nitrogen. **Nature**, v. 163, p. 330–331, 1949. <https://doi.org/10.1038/163330b0>.
- LANDAU, Serge *et al.* Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. **Animal**, v. 10, n. 2, p. 192–202, fev. 2016. <https://doi.org/10.1017/s175173111500169x>.

- LANDAU, Serge *et al.* Impact of animal density on cattle nutrition in dry Mediterranean rangelands: a faecal near-IR spectroscopy-aided study. **Animal**, v. 12, n. 2, p. 265-274, maio 2017. <https://doi.org/10.1017/s1751731117001422>.
- LEITE, Eneas; STUTH, Jerry. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free-ranging goats. **Small Ruminant Research**, v. 15, n. 3, p. 223–230, fev. 1995. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(94\)00026-4](https://doi.org/10.1016/0921-4488(94)00026-4).
- LOPEZ, Eneko *et al.* The importance of choosing a proper validation strategy in predictive models: a tutorial with real examples. **Analytica Chimica Acta**, v. 1275, set. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341532>.
- LUKAS, Monika *et al.* Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 6, p. 1332–1344, jun. 2005. <https://doi.org/10.2527/2005.8361332x>.
- LYONS, Robert; STUTH, Jerry. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal of Range Management**, v. 45, n. 3, p. 238–244, maio 1992. <https://doi.org/10.2307/4002970>.
- MARTENS, Harald; NAES, Tormod. **Multivariate calibration**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.
- MOLLE, Giovanni *et al.* Fecal NIRS to estimate intake and diet composition in Sarda dairy ewes fed mixed diets or part-time grazing forage crops. **Small Ruminant Research**, v. 227, out. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107084>.
- MOURA, Andrezza *et al.* Use of indicators in studies of animal nutrition. **PUBVET**, Londrina, v. 7, n. 24, dez. 2013. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v7n24.1634>.
- NÚÑEZ-SANCHEZ, Nieves *et al.* 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, dez. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.09.010>.
- OLIVEIRA, Daniel. Predictability of dry matter intake, diet composition and digestibility in beef cattle using fecal near-infrared reflectance spectroscopy. Dissertação de mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2019.
- PARRA-FORERO, Diana *et al.* Use of near-infrared reflectance spectroscopy on feces to estimate digestibility and dry matter intake of dietary nutritional characteristics under grazing conditions in Colombian creole steers. **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, n. 178, abr. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03571-x>.
- PENNING, P. D. **Herbage intake handbook**. Reading: The British Grassland Society, 2004.

- PERIPOLLI, Vanessa *et al.* Fecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, n. 2–4, p. 170–176, fev. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.008>.
- PETERS, Jenilee *et al.* Predicting fecal composition, intake, and nutrient digestibility in beef cattle consuming high forage diets using near infrared spectroscopy. **Translational Animal Science**, v. 7, n. 1, maio 2023. <https://doi.org/10.1093/tas/txad043>.
- ROSSA, Mariana *et al.* Predicting fiber content in herbivore fecal samples using a multispecies NIRS model. **PLOS ONE**, v. 20, n. 1, jan. 2025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317145>.
- SANTOS, Thayná *et al.* A decision support alternative method through NIR spectroscopy and MCC-PCA in the evaluation of *Salmonella spp.* in bovine meat and bone meal. **Food Research International**, v. 209, maio 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116215>.
- SAVIAN, Jean *et al.* Comparison of fecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 242, p. 144–149, ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.06.010>.
- SCHLECHT, Eva; SUSENBETH, Andreas. Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude protein concentration of cattle and small ruminants. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 90, n. 9–10, p. 369–379, out. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00596.x>.
- SILVA, Igor. Uso da espectroscopia NIR para monitoramento nutricional de ovinos em pastagens de capim-mombaça. Dissertação de mestrado. Sobral: Universidade Estadual Vale do Acaraú; 2020.
- STUTH, Jerry; JAMA, Abdi; TOLLESON, Doug. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v. 84, n. 1–2, p. 45–56, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00140-0).
- TOLLESON, Doug; ANGERER, Jay. The application of near infrared spectroscopy to predict faecal nitrogen and phosphorus in multiple ruminant herbivore species. **The Rangeland Journal**, jan. 2021. <https://doi.org/10.1071/RJ20071>.
- TOLLESON, Doug; SCHAFER, D. Application of fecal near-infrared spectroscopy and nutritional balance software to monitor quality and body condition in beef cows grazing Arizona rangeland. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 1, p. 349–358, jan. 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6631>.
- TOLLESON, Douglas *et al.* Nutritional monitoring of rangeland beef cattle in the Edwards Plateau of Texas using region-specific fecal near-infrared

- spectroscopy predictions of diet quality. **Rangelands**, v. 47, n. 2, p. 109–117, abr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2024.11.004>.
- TRÓPIA, Nathália *et al.* Regression models from portable NIR spectra for predicting the carcass traits and meat quality of beef cattle. **PLOS ONE**, v. 19, n. 5, maio 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303946>.
- VAN SOEST, Peter Jan. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. New York: Cornell University Press, 1994.
- VILLAMUELAS, Miriam *et al.* Predicting herbivore faecal nitrogen using a multispecies near-infrared reflectance spectroscopy calibration. **PLOS ONE**, v. 12, n. 4, abr. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176635>.
- WANG, Chengjie *et al.* Fecal crude protein content as an estimate for the digestibility of forage in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, n. 3–4, p. 199–208, mar. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.06.005>.
- WILLIAMS, P. **Near-infrared technology, getting the best out of light: a short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user**. Sidney: PDK Grain, 2004.
- WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near-infrared technology in the agricultural and food industries**. 2. ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2001.
- XU, Yiming *et al.* Application of near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical composition of feces in Holstein dairy cows and calves. **Animals**, v. 14, n. 52, dez. 2023. <https://doi.org/10.3390/ani14010052>.
- YU, Huijing *et al.* Novel automatic model construction method for the rapid characterization of petroleum properties from near-infrared spectroscopy. **Fuel**, v. 316, maio 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.123101>.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Brasil: projetos 478418/2013-2 e 310629/2022-5), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS; projeto número 23/2551-0000892-0), e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001.

Autores

Eliaana Bordin Dutra, Lucas Biscaglia Miranda, Eduarda Jahnke Kepplin, Rafaela Rorato de Oliveira, Eduardo Bohrer de Azevedo

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.