



LAÍS GABRIELLE ALVARENGA ASSIS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO REALIZADO
NO 3RLAB LABORATÓRIO DE ANÁLISES
AGROPECUÁRIAS LTDA**

LAVRAS – MG

2023

LAÍS GABRIELLE ALVARENGA ASSIS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO REALIZADO NO 3RLAB
LABORATÓRIO DE ANÁLISES AGROPECUÁRIAS LTDA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Medicina Veterinária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof.^a Dr.^a Elaine Maria Seles Dorneles
Orientadora

LAVRAS – MG

2023

LAÍS GABRIELLE ALVARENGA ASSIS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO REALIZADO NO 3RLAB
LABORATÓRIO DE ANÁLISES AGROPECUÁRIAS LTDA**

**SUPERVISED INTERNSHIP CARRIED OUT AT 3RLAB LABORATÓRIO DE
ANÁLISES AGROPECUÁRIAS LTDA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Medicina Veterinária, para
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 07 de julho de 2023.

Prof.^a Dr.^a Elaine Maria Seles Dorneles - UFLA

Prof. Dr. Édison José Fassani - UFLA

Lislaine Maria Batista - 3RLAB

Prof.^a Dr.^a Elaine Maria Seles Dorneles

Orientadora

LAVRAS – MG

2023

À minha mãe, Cássia, cujo o zelo por minha educação sempre esteve em primeiro lugar. Aqui estão os resultados dos seus esforços. Com muita gratidão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por acalmar meu coração e abençoar meus passos nessa jornada.

À minha mãe, por todos os anos sendo meu suporte e força.

Ao meu irmão, Guilherme, que me incentiva a desenvolver como pessoa e profissional.

Ao meu namorado, Marcos, pelo companheirismo, amor e apoio.

A minha família, a família Rodrigues Dias Lima, aos velhos amigos e aos conquistados durante essa jornada, por tornarem meus dias leves e me ajudarem a ser feliz durante o caminho.

Aos professores e aos colegas que pacientemente me ensinaram e incentivaram a sempre buscar meu melhor, especialmente José Rafael Miranda, Elaine Dorneles, Carine Rodrigues, e Núcleo de Estudos em Pequenos Animais (NEPA).

À Universidade Federal de Lavras, ao Instituto Politécnico de Bragança, e às instituições de fomento à pesquisa, por possibilitarem minha formação profissional.

À equipe 3RLab, pela oportunidade de realizar o meu estágio e pela receptividade.

A todos que de alguma forma se fizeram presentes e contribuíram neste período.

O meu sincero agradecimento!

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta as atividades acompanhadas e desenvolvidas durante o estágio supervisionado obrigatório realizado como parte da disciplina PRG107 durante o curso de graduação em Medicina Veterinária, na área de análise de alimentos para animais, no 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA, da cidade de Lavras - MG, sob supervisão da zootecnista Larissa Estefane Cruz das Graças e sob orientação da professora Dr.^a Elaine Maria Seles Dorneles, no período de 20 de março de 2023 a 30 de junho de 2023, com carga horária total de 420 horas. Dentre as atividades desenvolvidas estiveram a triagem e preparo de amostras para análise nutricional, acompanhamento de análises por métodos diretos e indiretos, produção e liberação de resultados, auditorias no setor de qualidade, participação em treinamentos relacionados a qualidade e segurança em laboratório e em projetos de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, no presente trabalho é feita uma revisão de literatura acerca do uso da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) aplicado a nutrição animal. As experiências vivenciadas durante este período permitiram a aplicação e aperfeiçoamento dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de graduação, assim como possibilitou adquirir novos conhecimentos, especialmente nas áreas de nutrição animal e práticas laboratoriais.

Palavras-chaves: Análise de Alimentos. Nutrição Animal. Espectroscopia de Infravermelho Próximo.

ABSTRACT

This course completion work presents the activities monitored and developed during the mandatory supervised internship carried out as part of the discipline PRG107 during the graduation course in Veterinary Medicine, in the area of analysis of animal feeds, at 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA, from the city of Lavras - MG, under the supervision of zootechnician Larissa Estefane Cruz das Graças and under the guidance of Professor Elaine Maria Seles Dorneles, from March 20, 2023 to June 30, 2023, with a total workload of 420 hours. Among the activities carried out were the screening and preparation of samples for nutritional analysis, monitoring analyzes by direct and indirect methods, production and release of results, audits in the quality sector, participation in training related to quality and safety in the laboratory, and in research and development projects. In addition, in the present work a literature review is made about the use of near infrared spectroscopy (NIRS) applied to animal nutrition. The experiences lived during this period allowed the application and improvement of the knowledge acquired during the graduation course, as well as made it possible to acquire new knowledge, especially in the areas of animal nutrition and laboratory practices.

Keywords: Food Analysis. Animal Nutrition. Near Infrared Spectroscopy.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fachada do 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA. | 14 |
| Figura 2 - Empresas do Grupo Rehagro. | 14 |
| Figura 3 - Selos de Certificação do 3RLAB. | 15 |
| Figura 4 - Área de recepção de amostras do 3RLAB. | 16 |
| Figura 5 - Sala de secagem do 3RLAB. | 17 |
| Figura 6 - Sala de moinhos do 3RLAB. | 17 |
| Figura 7 - Sala de análise NIRS do 3RLAB. | 18 |
| Figura 8 - Laboratório de análises químicas do 3RLAB. | 19 |
| Figura 9 - Sala de digestão do 3RLAB. | 19 |
| Figura 10 - Fluxograma das atividades realizadas no setor de nutrição animal. | 21 |
| Figura 11 - Sistema de gestão de análises do 3RLAB. | 22 |
| Figura 12 - Composição dos alimentos segundo a análise proximal. | 26 |
| Figura 13 - Características da radiação eletromagnética em uma parte do espectro eletromagnético que inclui o infravermelho próximo. | 32 |
| Figura 14 - Pilares de sustentação da tecnologia NIRS. | 34 |
| Figura 15 - Processo de irradiação da amostra com a luz infravermelho e posterior refletância da luz não absorvida pela amostra. | 35 |
| Figura 16 - Regiões de picos de absorbância das moléculas químicas dentro da região do infravermelho proximal. | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores recomendados de distribuição das partículas para forragem e dieta total misturada. | 25 |
|--|----|

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1- Amostras recebidas no 3RLAB no período de 20 de março de 2023 a 20 de junho de 2023. | 23 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO..... | 14 |
| 2.1 | Área física | 16 |
| 2.1.1 | Área de recepção de amostras | 16 |
| 2.1.2 | Sala de secagem | 16 |
| 2.1.3 | Sala de moinhos | 17 |
| 2.1.4 | Sala de análise NIRS | 18 |
| 2.1.5 | Laboratório de análises químicas | 18 |
| 2.1.6 | Sala de digestão | 19 |
| 2.1.7 | Outras dependências..... | 20 |
| 3 | ATIVIDADES REALIZADAS..... | 21 |
| 3.1 | Recepção de amostra..... | 22 |
| 3.2 | Preparo de amostras | 23 |
| 3.3 | Análises de processamento de amostras..... | 24 |
| 3.3.1 | <i>Kernel Processig Score (KPS)</i> | 24 |
| 3.3.2 | Penn State..... | 24 |
| 3.3.3 | Tamanho de partícula de grão (TPG)..... | 25 |
| 3.4 | Análises químicas..... | 26 |
| 3.4.1 | Matéria seca..... | 27 |
| 3.4.2 | Proteína bruta | 27 |
| 3.4.3 | Nitrogênio não proteico..... | 28 |
| 3.4.4 | Fibra em detergente neutro (FDN)..... | 28 |
| 3.4.5 | Fibra em detergente ácido (FDA)..... | 28 |
| 3.4.6 | Amido..... | 29 |
| 3.4.7 | Lignina | 29 |
| 3.4.8 | Extrato Etéreo..... | 30 |
| 3.4.9 | Cinzas | 30 |
| 3.4.10 | Minerais..... | 30 |
| 3.5 | Análise NIRS..... | 31 |
| 4 | USO DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS) APLICADO A NUTRIÇÃO ANIMAL..... | 32 |

| | |
|---------|-----------------------------------|
| | 12 |
| 4.1 | Introdução.....32 |
| 4.2 | Referencial Teórico33 |
| 4.2.1 | Evolução da técnica.....33 |
| 4.2.2 | Os três pilares da técnica.....34 |
| 4.2.2.1 | Fundamentos34 |
| 4.2.2.2 | Quimiometria36 |
| 4.2.2.3 | Instrumentação37 |
| 4.2.3 | Benefícios e desafios38 |
| 4.2.4 | Novas perspectivas38 |
| 4.3 | Conclusão39 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS40 |
| | REFERÊNCIAS41 |

1 INTRODUÇÃO

O curso de bacharelado em medicina veterinária da Universidade Federal de Lavras possui como requisito final para a sua conclusão a disciplina de estágio supervisionado PRG 107. Esta possui uma carga horária de 408 horas práticas, que abrangem as atividades realizadas no estágio supervisionado, e 68 horas teóricas referentes a escrita do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A mesma oferece uma oportunidade ao aluno de aperfeiçoar conhecimentos técnicos e científicos através da vivência prática, criar uma rede de contatos profissionais, e criar um vínculo com o mercado ou instituição na área de sua preferência. Neste contexto, foi escolhida a área de análise de alimentos para animais.

A avaliação de alimentos se faz importante por permitir uma maior precisão e clareza durante as tomadas de decisões na formulação de dietas que serão fornecidas. Isto se dá ao fato dela oferecer informações mais confiáveis sobre as respostas dos animais frente a nutrição, otimiza o recurso financeiro utilizado, e em caráter retrospectivo pode identificar imprecisões no plantio, processamento ou armazenamento, etapas que possuem impacto no valor nutricional dos alimentos.

O local de escolha para realização do estágio supervisionado foi o 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA, em Lavras - MG. As atividades foram orientadas pela professora Dr.^a Elaine Maria Seles Dorneles, e supervisionadas pela zootecnista M.^a Larissa Estefane Cruz das Graças, coordenadora de laboratório, no período de 20 de março de 2023 a 30 de junho de 2023, com carga horária total de 420 horas.

O presente trabalho objetiva relatar as atividades realizadas na empresa durante o período de estágio, além de incluir uma revisão de literatura sobre o uso da análise da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) aplicado a nutrição animal.

2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

O 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA é uma empresa atuante na área de diagnose, processamento de dados e geração de informações provenientes de análises agrícolas e nutricionais.

Figura 1 - Fachada do 3RLAB Laboratório de Análises Agropecuárias LTDA.



Fonte: Da autora (2023).

Fundado em 2013 pelo Grupo Rehagro, faz parte de um grupo de empresas (Figura 2) que englobam ensino, pesquisa, consultoria e produção de produtos biológicos. Sua sede está atualmente localizada na cidade de Lavras - MG, possuindo também unidades nas cidades de Goiânia - GO e Chapecó – SC.

Figura 2 - Empresas do Grupo Rehagro.



Fonte: Rehagro Consultoria (2023).

Os serviços realizados voltados para a agricultura abrangem análises de solo, fertilizantes e foliar, e os voltados para nutrição animal abrangem análises de alimentos, água e fezes.

O laboratório possui os principais selos de certificação (Figura 3), sendo o único laboratório brasileiro com certificação americana *National Forage Testing Association* (NFTA), o que o classifica como laboratório de referência.

Figura 3 - Selos de Certificação do 3RLAB.



Fonte: 3RLAB (2023).

2.1 Área física

2.1.1 Área de recepção de amostras

A recepção das amostras ocorre na área apresentada na Figura 4, são recebidas amostras destinadas a análise no setor de agricultura e setor de nutrição animal. Neste local, além do cadastro no sistema de gestão de análise, também são confeccionadas as etiquetas de identificação.

Figura 4 - Área de recepção de amostras do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

2.1.2 Sala de secagem

A sala de secagem representada na Figura 5 é o local destinado a homogeneização, secagem em micro-ondas, e as análises de processamento. Também dispõe de estrutura destinada ao armazenamento das amostras que poderão ser utilizadas como contraprova até a liberação dos resultado das análises das mesmas.

Figura 5 - Sala de secagem do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

2.1.3 Sala de moinhos

A sala de moinhos (Figura 6), compartilhada entre o setor de nutrição animal e agricultura, é destinada a moagem das amostras para que as mesmas atinjam a granulometria necessária para as análises.

Figura 6 - Sala de moinhos do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

2.1.4 Sala de análise NIRS

A sala de análise NIRS apresentada na Figura 7 é o local de uso exclusivo do equipamento responsável por essa análise. Também dispõe de espaço destinado ao armazenamento das amostras realizadas recentemente.

Figura 7 - Sala de análise NIRS do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

2.1.5 Laboratório de análises químicas

O laboratório de análises químicas representado na Figura 8 é um local compartilhado entre os setores de agricultura e nutrição animal. Ele dispõe de diversos equipamentos que permitem este tipo de análise nas amostras recebidas, após as mesmas terem passado pelo processamento e análise NIRS.

Figura 8 - Laboratório de análises químicas do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

2.1.6 Sala de digestão

A sala de digestão (Figura 9) é destinada ao preparo e manuseio de soluções para digestão que utilizem produtos químicos que apresentam risco ao manuseio. Possui uma capela de exaustão, que além de exaurir os vapores, também atua como barreira física proporcionando proteção ao analista e ao ambiente.

Figura 9 - Sala de digestão do 3RLAB.



Fonte: Da autora (2023).

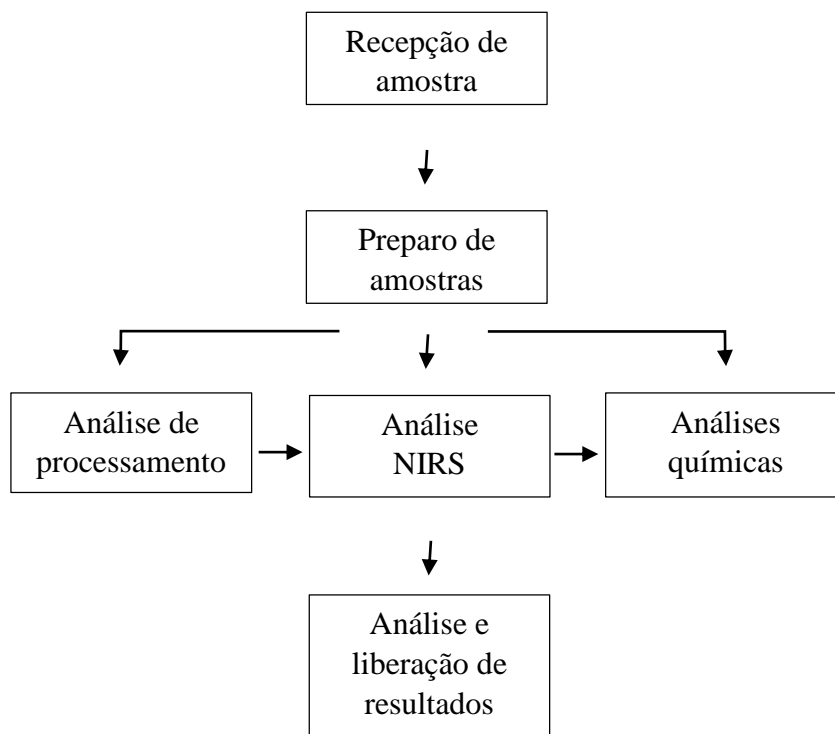
2.1.7 Outras dependências

Além das áreas detalhadas anteriormente o laboratório conta com o setor administrativo, sala de controle de qualidade, salas de gerência do setor de agricultura e nutrição animal, sala de pesquisa e desenvolvimento, sala de reuniões, área de armazenamento de amostras processadas e analisadas, almoxarifado, refeitório e sanitários.

3 ATIVIDADES REALIZADAS

Durante o período de estágio houve a participação na triagem e preparo de amostras para análise nutricional, que abrangem as etapas de homogeneização, secagem e moagem. Acompanhamento de análises por métodos diretos e indiretos. Acompanhamento da produção e liberação de resultados das análises. Acompanhamento de auditorias no setor de qualidade. Participação em treinamentos relacionados a qualidade e segurança em laboratório, realizados quinzenalmente com caráter educacional. E participação em projetos de pesquisa e desenvolvimento, voltados a tecnologia de espectroscopia de infravermelho próximo.

Figura 10 - Fluxograma das atividades realizadas no setor de nutrição animal.



Fonte: Da autora (2023).

3.1 Recepção de amostra

A etapa de recepção de amostras consiste no cadastro do cliente e da amostra no sistema de gestão de análises, este sistema é utilizado desde a recepção até a etapa final de geração de laudos (Figura 11). Após o cadastro, é confeccionada uma etiqueta com código de barras e identificação numérica que será a identificação da amostra durante todo o processo de análise.

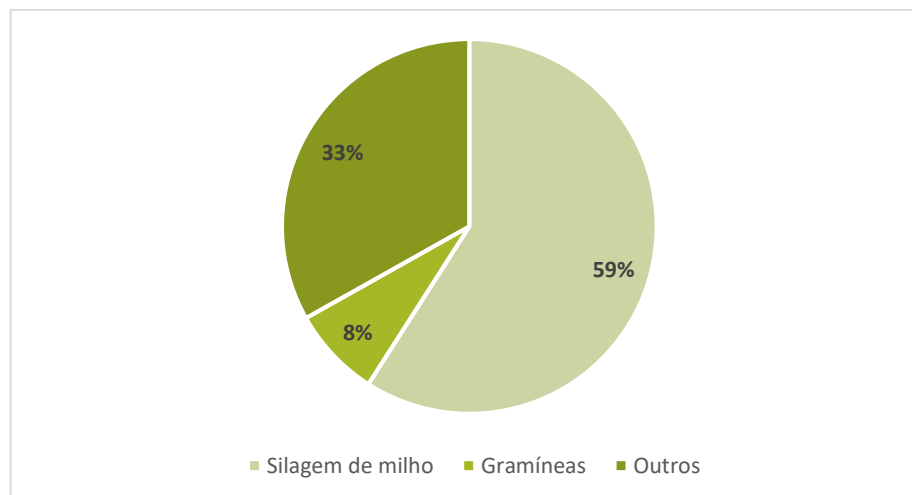
Figura 11 - Sistema de gestão de análises do 3RLAB.

The screenshot displays the 'Gestão de Análises' system interface. On the left, a sidebar menu is visible under the 'Nutrição Animal' category, listing various analysis types such as 'Secagem (Microondas/Estufa)', 'Águas', 'Amido', 'Cinzas', 'Cloreto', 'Extrato Etéreo', 'Fibra em Deterg. Ácido', 'Fibra em Deterg. Neutro', 'Lignina', 'Minerais (Exportação)', 'Minerais (Importação)', and 'Nitrogênio não Proteico'. The main content area is titled 'Amostras - Nutrição Animal' and features a horizontal navigation bar with tabs for 'Fertilizantes Minerais', 'Fertilizantes Orgânicos', 'Corretivos/Condicionadores', 'Nutrição Animal' (selected), 'Tecido Vegetal', and 'Solos'. Below this, a 'Filtro' section contains several search criteria: 'Cliente', 'Empreendimento', 'Pacote', and 'Técnico' (all dropdown menus); 'Tipo de Amostra' (dropdown menu); 'COD' (dropdown menu); 'Descrição' (text input); 'Liberado' (dropdown menu); 'Código de Barras' (text input); 'Entrada de' (date input 'dd/mm/aaaa' with a calendar icon); and 'Saída de' (date input 'dd/mm/aaaa' with a calendar icon).

Fonte: Sistema interno 3RLAB (2023).

No período de 20 de março de 2023 a 20 de junho de 2023 foram recebidas 5809 amostras, sendo destas 3431 (59,06%) silagens de milho, 453 (7,80%) gramíneas que abrangem capins, fenos, silagem de capim e pré-secado, e 1925 (33,14%) com outras classificações como grãos, farelos, silagens de sorgo, resíduos de cervejaria, sal mineral, entre outros (Gráfico 1).

Gráfico 1- Amostras recebidas no 3RLAB no período de 20 de março de 2023 a 20 de junho de 2023.



Fonte: Da autora (2023).

3.2 Preparo de amostras

A primeira etapa do preparo de amostras é a homogeneização, realizada a fim de garantir uma maior representatividade ao separar parte da amostra que será pesada. A homogeneização pode ocorrer de diferentes formas de acordo com a categoria do alimento: silagens, capins, fenos, dietas, e grãos úmidos são quarteados em bancada; proteinados e minerais no aparelho quarteador e misturas de grãos, farelos, e grãos secos homogeneizados em recipiente de alumínio com auxílio de uma colher.

Após a pesagem as amostras são submetidas a secagem, sendo em sua maioria realizada em forno micro-ondas, com exceção de fezes e silagens destinadas a análises de processamento que são encaminhadas para a estufa e proteinados e minerais que não são submetidos a este processo. Ao concluir a etapa de secagem, as amostras são destinadas ao moinho ultracentrífugo a fim de atingirem a granulometria de 1,0 mm. Já moídas, são armazenadas em sacos *ziploc* e destinadas as análises solicitadas pelo cliente.

3.3 Análises de processamento de amostras

3.3.1 *Kernel Processig Score (KPS)*

O KPS é um método de avaliação da disponibilidade do amido da silagem de milho. A técnica atualmente utilizada foi proposta por Ferreira e Mertens (2005), e consiste na passagem de uma amostra representativa da silagem por um conjunto de cinco peneiras e fundo que apresentam crivos de 9,50; 4,75; 2,36; 1,18; 0,50 mm, dispostas na vertical e em ordem decrescente, que são submetidas ao agitador elétrico por 10 a 15 minutos.

A peneira com o crivo de 4,75 mm fará a separação dos grãos intactos ou dos grandes fragmentos, que apresentam tamanho maior que um quarto de grão, com o restante das partículas, tornando possível a avaliação quantitativa do processamento dos grãos (FERREIRA & MERTENS, 2005). Quanto maior o índice, isto é, maior porcentagem de amido da amostra capaz de passar na peneira de 4,75 mm, mais facilitado será o acesso ao amido pelos microrganismos ruminais.

No 3RLAB este teste deverá estar associado a uma análise de NIRS, pois o amido presente em cada fração de peneiras será analisado pelo equipamento juntamente ao peso obtido de cada peneira e por fim é gerado o resultado através do sistema de gestão de análise. Os valores de KPS acima de 70% são considerados excelentes, entre 50 a 70% são considerados adequados e valores abaixo de 50% são considerados ruins (FERREIRA & MERTENS, 2005).

3.3.2 *Penn State*

A análise *Penn State* consiste no uso de um conjunto de peneiras para determinação do tamanho das partículas de fibra que serão fornecidas, sendo seu uso de extrema importância para formulação de dietas para vacas leiteiras, e com aplicabilidade da análise também a campo (HEINRICHS & JONES, 2013).

Sua importância se dá pela necessidade de equilibrar o fornecimento de fibra fisicamente efetiva (FDNfe), proporcionando níveis adequados de salivação, ruminação, pH ruminal, e por conseguinte saúde intestinal, sem impactar negativamente no consumo de matéria seca (HEINRICHS & JONES, 2013). O atual conjunto utilizado possui orifícios de 4

mm na peneira inferior, esta dimensão possibilita a retenção de partículas da dieta que contribuirão para a ruminação. (HEINRICHS & JONES, 2013). Os valores recomendados de distribuição das partículas são representados na Tabela 1.

No 3RLAB os alimentos permitidos para essa análise são forragens e dietas completas, sendo este último, a mistura de volumosos com concentrados. O fundo e as três peneiras são pesados individualmente e posteriormente é obtido o resultado pelo sistema de gestão de análise.

Tabela 1 - Valores recomendados de distribuição das partículas para forragem e dieta total misturada.

| Peneira | Orifício (mm) | Partícula (mm) | Forragem (%) | Dieta total (%) |
|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| Superior | 19 | > 19 | 10 – 20 | 2 – 8 |
| Intermediária | 8 | 8 – 19 | 45 – 75 | 30 – 50 |
| Inferior | 4 | 4 – 8 | 30 – 40 | 10 – 20 |
| Fundo | - | < 4 | < 10 | 30 – 40 |

Fonte: Adaptado de HEINRICHS & JONES (2013).

3.3.3 Tamanho de partícula de grão (TPG)

O tamanho de partícula de grão (TPG) também conhecido como diâmetro geométrico médio (DGM) diz respeito a granulometria dos grãos. Essa análise, especialmente aplicada ao milho, exerce um importante papel uma vez que a granulometria influencia diretamente a conversão alimentar e a produção de suínos e frangos (ZANOTTO et al., 2016). Para suínos, é recomendado as faixas de TPG entre 0,480 e 0,600 mm, estes valores menores de granulometria aumentam o valor energético do milho para esta espécie, conseqüentemente tendo como resultado um melhor desempenho zootécnico (ZANOTTO et al., 2016). Em contrapartida, para frangos de corte é recomendada a faixa de 0,850 a 1,050 mm, pois o TPG não exerce impacto no desempenho zootécnico nesta categoria, por isso valores maiores deste parâmetro serão almejados, pois irão reduzir a demanda com energia elétrica propiciando o melhor rendimento durante a moagem (ZANOTTO et al., 2016).

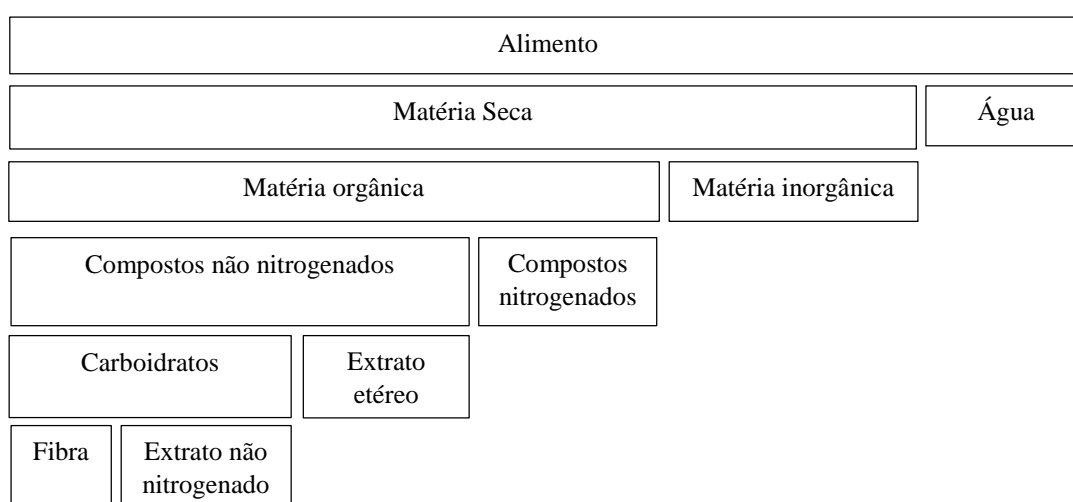
No 3RLAB os alimentos permitidos para esta análise são os grãos em geral. As seis peneiras com crivos de 2; 1; 0,500; 0,350; 0,250; 0,106 mm e o fundo são dispostos verticalmente e em ordem decrescente, e submetidas ao agitador elétrico por 10 minutos. A pesagem é realizada individualmente, e logo após é obtido o resultado pelo sistema de gestão de análise.

3.4 Análises químicas

A análise química é o método de referência para a definição da composição dos alimentos, embora não forneça resultados quantitativos de um composto individualizado, e sim de um grupo de compostos químicos. Por exemplo, a análise de proteína bruta inclui compostos químicos nitrogenados como um todo, assim como o extrato etéreo abrange os triglicerídeos e compostos solúveis em éter (GOES et al., 2010).

O método de análise química mais utilizado é denominado método de Weende, que também é conhecido como análise proximal (Figura 12). Adicionalmente, a análise de proteína normalmente é realizada pelo método de Kjeldahl, e a análise de fibra com maior precisão de informações é realizada pelo método de Van Soest (GOES et al., 2010; PADMORE, 1990; VAN SOEST et al., 1991).

Figura 12 - Composição dos alimentos segundo a análise proximal.



Fonte: Adaptado de ANDRIGUETO et al. (1982).

3.4.1 Matéria seca

A matéria seca é definida como a porção do alimento isenta de água ou umidade. É nesta fração que estão contidos os nutrientes, motivo pelo qual os resultados das análises químicas são apresentados com base na mesma, o que permite uma comparação facilitada entre as composições nutricionais não levando em consideração o percentual de água (SALMAN et al., 2010).

No 3RLAB a matéria seca é previamente definida após a secagem em micro-ondas, este dado é utilizado para a análise NIRS realizada posteriormente. Porém, devido ao tempo decorrido até a realização das análises químicas, as amostras adquirem umidade do ambiente. Por isso, com a finalidade de correção do dado obtido anteriormente, a matéria seca residual é definida por meio do método de umidade voláteis a 105° por gravimetria em estufa, gerando uma maior precisão em todos os dados das análises químicas realizadas.

3.4.2 Proteína bruta

A proteína bruta é definida como um grupo de substâncias de estruturas semelhantes, mas que se distinguem em suas funções fisiológicas. Compõe este grupo o nitrogênio proteico propriamente dito e outros compostos nitrogenados não proteicos, como aminas, amidas, amônia, lecitinas, nitrilas e aminoácidos livres (BERCHIELLI et al., 2006; GOES et al., 2010).

No 3RLAB a análise de proteína bruta é realizada pelo método de Kjeldahl com digestão ácida e titulação em ácido bórico (PADMORE, 1990). Pelo fato de possuírem, quase constantemente, 16% de nitrogênio, o valor da proteína bruta se dá através da determinação do percentual de nitrogênio multiplicado pelo fator de conversão 6,25 (GOES et al., 2010). Por essa metodologia não considerar variação no teor de nitrogênio e não permitir avaliar a qualidade da proteína, também se faz necessária a análise de nitrogênio não proteico (SALMAN et al., 2010).

3.4.3 Nitrogênio não proteico

O nitrogênio não proteico é uma das fontes de compostos nitrogenados utilizados na alimentação de ruminantes com o intuito de adequar os níveis de proteína degradada no rúmen e diminuir o custo da suplementação proteica (BERCHIELLI et al., 2006).

A sua análise isolada da proteína bruta se faz necessária pelo fato da composição química e física da proteína impactarem sua degradabilidade, sendo o nitrogênio não proteico integralmente e rapidamente degradado no rúmen (BERCHIELLI et al., 2006).

No 3RLAB a análise de nitrogênio não proteico é realizada pelo método de Kjeldahl (PADMORE, 1990).

3.4.4 Fibra em detergente neutro (FDN)

Os constituintes da célula vegetal podem ser divididos em conteúdo celular, composto por carboidratos solúveis em água, lipídeos e proteínas, e parede celular composta por celulose, hemicelulose, lignina e proteína insolúvel (SALMAN et al., 2010).

O detergente neutro permite a separação do conteúdo celular e da parede celular, sendo esta última denominada fibra em detergente neutro. O conteúdo celular solubiliza neste detergente, enquanto a parede não, podendo ser separada por filtragem (SALMAN et al., 2010; VAN SOEST et al., 1991).

No 3RLAB a análise de fibra em detergente neutro é realizada pelo método de Van Soest utilizando saco filtrante A200.

3.4.5 Fibra em detergente ácido (FDA)

O detergente ácido permite a separação do conteúdo celular, da hemicelulose e da maior parte da proteína insolúvel (solúveis no detergente), da porção constituída de lignina e celulose (denominado fibra em detergente ácido). A fibra em detergente ácido é a porção menos digestível da parede celular (SALMAN et al, 2010; VAN SOEST et al., 1991).

No 3RLAB a análise de fibra em detergente ácido é feita pelo método de Van Soest utilizando saco filtrante A200.

3.4.6 Amido

O amido é um polissacarídeo que faz parte da fração de carboidratos não fibrosos das plantas. Assim como a celulose é constituído de unidade de glicose, se diferenciando por meio das ligações entre elas, a celulose possui ligações beta e por isso é hidrolisada apenas pelos microrganismos ruminais, já o amido possui ligações alfa sendo possível sua hidrólise por enzimas secretadas pelos animais e pelos microrganismos ruminais (BERCHIELLI et al., 2006).

As unidades de glicose do amido são organizadas em dois homopolissacarídeos denominados amilose e amilopectina. A amilose apresenta uma cadeia linear com ligações glicosídicas do tipo alfa (1,4) enquanto a amilopectina além da cadeia linear com ligações alfa (1,4), possui várias ramificações com ligações glicosídicas do tipo alfa (1,6). Essa ligações específicas permitem o uso de métodos enzimáticos para a análise quantitativa do amido (BERCHIELLI et al., 2006).

No 3RLAB a análise de amido é realizada pelo método enzimático-colorimétrico utilizando as enzimas alfa-amilase e amiloglicosidase.

3.4.7 Lignina

A lignina é um componente da parede celular vegetal que atua negativamente sobre a digestibilidade dos nutrientes, seu percentual na composição da planta aumenta conforme a maturidade vegetal. Ela funciona como uma barreira física na digestão dos nutrientes que estão localizados no conteúdo celular, sendo a mesma também pouco digerível (GOES et al., 2010).

No 3RLAB a análise de lignina é realizada pelo método de resíduos de FDA em digestão com ácido sulfúrico 72%.

3.4.8 Extrato Etéreo

Os lipídeos compõem a fração mais energética dos alimentos, são substâncias solúveis em solventes orgânicos denominados extratores, como o éter. O extrato etéreo é constituído pelos lipídeos, e outros compostos igualmente solúveis pelos extratores, como ceras, ácidos graxos livres, carotenoides, clorofila e outros pigmentos, esteroides, etc. (GOES et al., 2010; SALMAN et al, 2010).

No 3RLAB o extrato etéreo é analisado por meio da extração de solvente pelo método de Goldfish.

3.4.9 Cinzas

As cinzas, também denominadas como matéria mineral, representam a porção inorgânica presente na amostra analisada (BERCHIELLI et al., 2006). A partir dela é possível também estimar o valor de matéria orgânica, subtraindo o seu valor ao de matéria seca (BERCHIELLI et al., 2006).

No 3RLAB a análise de cinzas é realizado pelo método de calcinação em forno mufla a 550 °C.

3.4.10 Minerais

Os minerais são compostos inorgânicos, não produzidos pelo organismos, sendo assim considerados nutrientes essenciais. São divididos em macrominerais e microminerais de acordo com a quantidade requerida pelo organismo, e possuem diferentes funções biológicas (SALMAN et al., 2010).

No 3RLAB a análise de minerais é feita por calcinação, seguida de digestão ácida com consecutiva leitura realizada no espectrofotômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP – OES). Os macrominerais analisados no laboratórios são cálcio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre e sódio, e os microminerais são zinco, manganês, cobre, ferro, alumínio e boro.

3.5 Análise NIRS

O espectrômetro de refletância no infravermelho próximo é um equipamento utilizado para análises de alimentos usando o princípio de emissão de radiação eletromagnética. Possui uma câmara de leitura ótica e um *software* que realiza as correções estatísticas que promovem identificação, qualificação e quantificação dos compostos orgânicos nos alimentos. (CAMPESTRINI et al., 2005).

No 3RLAB, a análise NIRS é realizada imediatamente após a moagem das amostras e o laudos são liberados em até um dia útil desde a chegada das mesmas no laboratório. Para esse tipo de análise são permitidas amostras de gramíneas, silagens, rações, fezes, grãos, farelos e resíduos. São analisados o teor de umidade, matéria seca, proteína, aminoácidos, cinzas, carboidratos não fibrosos, FDA, FDN, lignina, amido, extrato etéreo, ácidos graxos totais e digestibilidade.

A empresa possui parceria com o laboratório americano Rock River Laboratory Inc., sendo as curvas de calibração do equipamento e o teste de controle de qualidade de amostragem realizados no sistema desenvolvido pelo parceiro.

Além do espectrômetro de bancada utilizado para as análises comerciais, o laboratório conta com equipamentos NIRS portáteis, o NeoSpectra Scanner, que são utilizados pela equipe de pesquisa e desenvolvimento para a alimentação de curvas de calibração de amostras de silagens de milho frescas.

4 USO DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS) APLICADO A NUTRIÇÃO ANIMAL

4.1 Introdução

O infravermelho próximo é a região do espectro magnético que abrange os comprimentos de onda de 780 a 2500 nm, localizando-se entre a luz visível e o infravermelho médio (Figura 13) (LÓPEZ, 2013). A NIRS é a técnica que permite o estudo entre as interações da radiação eletromagnética desta região com a matéria por meio da absorção da radiação pelos compostos orgânicos, especialmente aqueles que possuem ligações C-H, N-H, O-H e S-H (LÓPEZ, 2013; PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018). A interação entre a energia e a matéria segue a Lei de Beer-Lambert, sendo a absorbância em qualquer comprimento de onda proporcional ao número ou concentração de moléculas absorventes presentes no trajeto de radiação (LÓPEZ, 2013).

Figura 13 - Características da radiação eletromagnética em uma parte do espectro eletromagnético que inclui o infravermelho próximo.

| | THz | MIR | NIR | VISÍVEL/UV |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| λ , nm | 100.000 | 10.000 | 1.000 | 100 |
| cm^{-1} | 100 | 1.000 | 10.000 | 100.000 |
| Hz | $3,0 \times 10^{12}$ | $3,0 \times 10^{13}$ | $3,0 \times 10^{14}$ | $3,0 \times 10^{15}$ |
| kJ mol^{-1} | 1,2 | 12 | 120 | 1200 |
| eV | $1,2 \times 10^{-3}$ | 0,12 | 1,24 | $1,24 \times 10^3$ |

Fonte: TIBOLA et al. (2018).

Para obter as informações sobre as propriedades químicas das amostras com confiabilidade, fazem-se necessárias algumas etapas, como a seleção de amostras, aquisição dos dados, leitura espectral, processamento matemáticos dos dados espectrais, e por fim, a rotina analítica (BERZAGHI et al., 2009; CAMPESTRINI et al., 2015).

Com as etapas de calibração realizadas, os aparelhos NIRS apresentam eficiência e versatilidade em seu uso, sendo atualmente utilizado em diversas áreas como análise de alimentos, fármacos, combustíveis e materiais (TIBOLA et al., 2018). Possui enorme relevância principalmente na análise de produtos agrícolas, podendo ser utilizado na indústria de rações para determinar a composição e a digestibilidade destes produtos, e tendo também um importante papel na avaliação de rastreabilidade podendo evitar possíveis fraudes (BERZAGHI et al., 2009; TIBOLA et al., 2018).

4.2 Referencial Teórico

4.2.1 Evolução da técnica

A faixa de radiação eletromagnética do infravermelho próximo foi descoberta no ano de 1800 por Sir William Herschel, sendo esta a primeira porção do espectro eletromagnética não visível identificada (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018). Embora descoberta no século XVIII, por muitos anos não houveram estudos que aprofundassem melhor no entendimento e aplicação da mesma (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

Alguns trabalhos foram publicados utilizando a espectroscopia NIR para determinar a água presente em gelatina e misturas de hidrocarbonetos nos anos de 1938 e 1950 (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018). Mas apenas na década de 1960, Karl Norris desenvolveu trabalhos abordando os princípios da técnica, iniciando a disseminação da mesma no meio acadêmico. Nas décadas de 1970 e 1980, Thomas Hirschfeld desenvolveu trabalhos relacionados aos fundamentos e a instrumentação da técnica (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

Com os trabalhos de Karl Norris, observou-se a necessidade de ferramentas matemáticas para resolver os problemas relacionados à falta de seletividade das informações provenientes dos espectros de leitura obtidos com a espectroscopia NIR (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018). Esta observação fez com que na década de 1980 fossem introduzidas técnicas quimiométricas de tratamento de dados (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

No ambiente industrial a inserção da técnica foi realizada por Phil Williams, como método alternativo ao de Kjeldahl na determinação de proteína (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018). Além de despertar o interesse por ser uma técnica rápida e limpa em comparação com a análise química, as companhias fabricantes de instrumentos passaram a produzir o

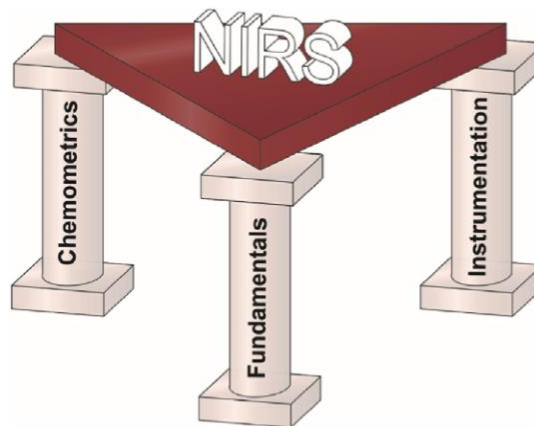
equipamento com as especificações necessárias para conseguirem operar na faixa espectral NIR (PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

Atualmente, a espectroscopia NIR tem grande relevância como método analítico, sendo incorporada e utilizada em várias áreas do setor produtivo e industrial, e cada vez mais aperfeiçoada através de normas e estudos que guiam o desenvolvimento, validação e manutenção deste método (ALMEIDA et al., 2018; GINDRI, 2016; MONTEIRO et al., 2017; NOVINSKI, 2013; PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

4.2.2 Os três pilares da técnica

Os três pilares de sustentação da tecnologia NIRS representados na Figura 14 são os fundamentos da espectroscopia vibracional, a quimiometria, e a instrumentação, sendo os três simbióticos e igualmente relevantes (PASQUINI, 2018).

Figura 14 - Pilares de sustentação da tecnologia NIRS.



Fonte: PASQUINI (2018).

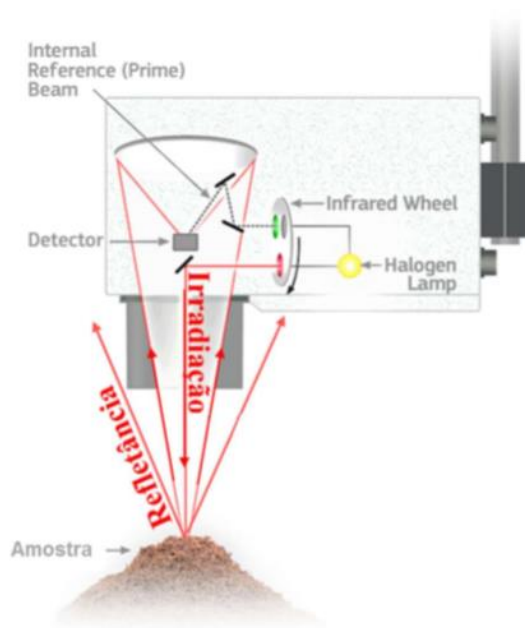
4.2.2.1 Fundamentos

A espectroscopia NIR permite o entendimento da composição de amostras orgânicas através do princípio de emissão da radiação eletromagnética, sendo capaz de identificar ligações covalentes presentes nestes compostos. As ligações representam os vínculos entre os átomos,

que vibram por todo tempo gerando o estiramento e a compressão das moléculas, resultando também em um movimento de onda dos átomos, que variam de acordo com a energia da ligação e os elementos envolvidos (GINDRI, 2016; PASQUINI, 2018).

A interação da radiação NIR com a amostra pode ocorrer de várias formas com diferentes arranjos geométricos, como transmitância, refletância difusa, transmitância difusa, interactância e transflectância (PASQUINI, 2018). A refletância difusa, representada na Figura 15, é o tipo de medição que predomina nesta análise, nela a radiação NIR é emitida sobre a amostra sólida, ocorre a interação entre os constituintes e a radiação, sendo esta última parcialmente absorvida, enquanto a outra parte refletida até o detector para ser mensurada e analisada (PASQUINI, 2018). Deste modo, a absorção e a reflexão são os principais fenômenos que afetarão o espectro de refletância (GINDRI, 2016; PASQUINI, 2018).

Figura 15 - Processo de irradiação da amostra com a luz infravermelho e posterior refletância da luz não absorvida pela amostra.

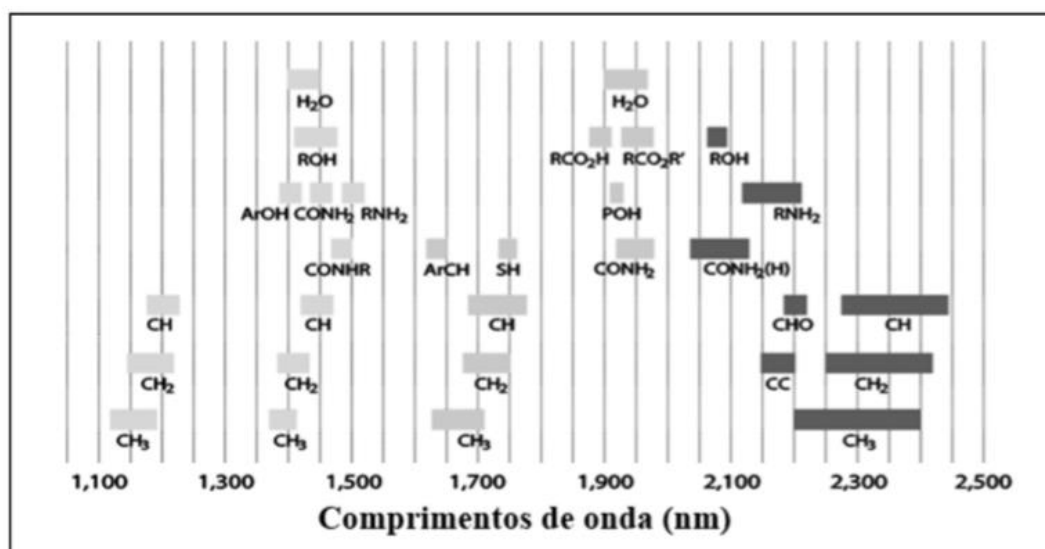


Fonte: GINDRI (2016).

A complexidade de um espectro NIR aumenta de acordo com a composição da amostra, sendo a interpretação de compostos orgânicos mistos mais difícil do que a de compostos puros (GINDRI, 2016; PASQUINI, 2018). Essa diferença ocorre devido ao elevado número de ligações dos compostos orgânicos que, apesar de serem diferentes, absorvem luz em um mesmo

comprimento de onda, gerando uma sobreposição (BERZAGHI et al. 2009; GINDRI, 2016). A Figura 16 exemplifica esta similaridade entre as regiões dos picos de absorbância.

Figura 16 - Regiões de picos de absorbância das moléculas químicas dentro da região do infravermelho proximal.



Fonte: GINDRI (2016).

Devido ao fator de confusão na diferenciação dos picos de absorção, a predição da composição da amostra a partir de modelos matemáticos simples se torna difícil, uma vez que estes indicam apenas os comprimentos de ondas referentes a cada composto, e nestes casos não é possível a individualização (BERZAGHI et al. 2009; GINDRI, 2016). Com isso, por não existir modelo matemático capaz de interpretar sozinho a reflexão de amostras heterogêneas, os equipamentos com tecnologia NIRS requerem calibrações que são realizadas através de amostras com composição química conhecida, que são utilizadas para comparação com os espectros obtidos pelo equipamento através de métodos matemáticos e estatísticos, conhecidos como métodos quimiométricos (BERZAGHI et al. 2009; GINDRI, 2016).

4.2.2.2 Quimiometria

A quimiometria é a área de estudos que utiliza métodos matemáticos e estatísticos para fornecer informações por meio da análise de dados químicos (BERZAGHI et al. 2009). Na

espectroscopia NIR ela é aplicada para relacionar as informações eletromagnéticas, representadas pelos espectros, com as informações da composição química obtida através do método de referência, sendo esse processo conhecido como calibração (BERZAGHI et al. 2009; GINDRI, 2016).

Para calibração, as relações matemáticas e estatísticas dessas duas fontes de informações podem ser obtidas por várias técnicas, sendo que as mais utilizadas são a regressão linear múltipla, a análise de componentes principais e a regressão por mínimos quadrados parciais (LÓPEZ et al., 2013). Essa relação obtida pela calibração permitirá prever a composição química com base nos dados dos espectros (BERZAGHI et al. 2009).

Em resumo, para construção de um modelo de predição deve-se cumprir as seguintes etapas: aquisição de dados espectrais, sendo as amostras usadas similares no tipo e diversas quantitativamente em composição; análise através do método químico de referência para determinar as composições das amostras; desenvolvimento da relação matemática entre espectro e composição química obtida pelo método de referência; e validação do modelo através do uso de um conjunto que amostras que não foi utilizado para a calibração (BERZAGHI et al. 2009).

4.2.2.3 Instrumentação

Os equipamentos de análise NIRS geralmente possuem cinco componentes principais: uma fonte de energia radiante, um seletor de comprimento de onda, recipientes para a amostra, um detector de radiação que converte a energia radiante em um sinal elétrico, e uma unidade de processamento de leitura do sinal (GINDRI, 2016).

O material dos componentes também devem ser adequados a análise, sendo os materiais ópticos produzidos para que não absorvam os comprimentos de onda utilizados, e a fonte da luz infravermelho próximo composta por sólidos inertes aquecidos (GINDRI, 2016).

4.2.3 Benefícios e desafios

Quando comparado aos métodos químicos convencionais a análise NIRS apresenta uma série de vantagens como a rapidez, baixo custo por não haver o uso de reagentes e menor mão-de-obra, preparo mínimo de amostras abrangendo apenas a secagem e moagem ou nenhum, análise simultânea de vários componentes, e a aplicabilidade em vários locais desde o laboratório até o campo (BERZAGHI et al. 2009; CAMPESTRINI et al., 2015; ALMEIDA et al., 2018).

Em contrapartida, possui algumas desvantagens a serem consideradas, como o fato de ser um método analítico secundário e portanto é necessário que se realizem análises químicas para construção e manutenção da calibração, sendo esta última uma etapa que exige estrutura e mão-de-obra capacitada, e ainda requer um grande conjunto de dados para que seja precisa (BERZAGHI et al. 2009; CAMPESTRINI et al., 2015; ALMEIDA et al., 2018). Além disso, apesar de possuírem baixo custo de medição, o investimento inicial para aquisição dos equipamentos é elevado (BERZAGHI et al. 2009; CAMPESTRINI et al., 2015; ALMEIDA et al., 2018).

4.2.4 Novas perspectivas

No momento atual a tecnologia NIRS continua em constante crescimento, tanto em pesquisas que em sua maioria já são voltadas as suas áreas específicas de aplicação, quanto na acessibilidade da tecnologia pela cadeia produtiva de alimentos (ALMEIDA et al., 2018; GINDRI, 2016; MONTEIRO et al., 2017; NOVINSKI, 2013; PASQUINI, 2018; TIBOLA et al., 2018).

No setor agrícola, são notadas duas tendências de desenvolvimento, a criação e implementação de espectrofotômetros NIR portáteis, que possibilitam a aplicação da tecnologia a campo e em fábricas de ração, otimizando o controle de qualidade de produtos e processos (SANTOS et al., 2013; PASQUINI, 2018). E o uso de imagens hiperespectrais, através das quais é possível obter, além das composições das amostras, mapas de concentração do componentes de acordo com sua distribuição na superfície de amostras heterogêneas (NANSEN et al., 2008; PASQUINI, 2018).

4.3 Conclusão

A espectroscopia NIR vem sendo bem explorada a fim de gerar métodos analíticos precisos e rápidos como alternativa aos métodos químicos de referência na análise de alimentos. A utilização de equipamentos que possuem essa tecnologia representa um avanço na nutrição animal, tanto pela liberdade geográfica que os novos equipamentos portáteis promovem, quanto pelos menores impactos ambientais que a análise NIRS proporciona.

Ainda há muitas aplicações a serem exploradas, mas a técnica já contribui positivamente na cadeia produtiva voltada a nutrição animal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do estágio supervisionado foi fundamental e enriquecedora para a conclusão da formação no curso de graduação em medicina veterinária. A oportunidade de vivenciar os conhecimentos adquiridos durante o curso e adquirir novas habilidades técnicas e sociais, contribuíram para o desenvolvimento profissional e pessoal.

O local de realização do estágio proporcionou o acompanhamento de um grande volume de análises de alimentos, possibilitando uma ampla vivência na rotina laboratorial.

A realização da revisão de literatura contribuiu para o melhor entendimento da técnica NIRS rotineiramente utilizada no laboratório, além de oportunizar a prática da pesquisa acadêmica.

REFERÊNCIAS

- 3RLAB. **Página institucional**. Disponível em: <<https://www.3rlab.com.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2023.
- ALMEIDA, M. T. C. et al. Predições da espectroscopia no infravermelho próximo podem determinar a digestibilidade e o consumo alimentar de cordeiros confinados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 597-605, 2018.
- ANDRIGUETTO, J. M.; PERLY, L.; MINARDI, I.; GEMAEL, A.; FLEMMING, J. S.; SOUZA, G. A. de; BONA FILHO, A. **Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal - os Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1982. 395 p.
- BERCHIELLI, T. T. et. al. **Nutrição de ruminantes**. 1. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 583 p.
- BERMAN, M.; CONNOR, P. M.; WHITBOURN, L. B.; COWARD, D. A.; OSBORNE, B. G.; SOUTHAN, M. D. Classification of sound and stained wheat grains using visible and near infrared hyperspectral image analysis. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 15, n. 6, p. 351-358, 2007.
- BERZAGHI, P., RIOVANTO, R. Near infrared spectroscopy in animal science production: principles and applications. **Italian Journal of Animal Science**, v. 8, p.39-62, 2009.
- BURGER, J.; GOWEN, A. Data handling in hyperspectral image analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 108, n. 1, p. 13-22, 2011.
- CAMPESTRINI, E. Utilização de equipamento NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) nos estudos de valores nutricionais (composição química e digestibilidade) de alimentos para não ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 2, n. 5, p. 240-251, 2005.
- FONTANELI, R. S. et. al.; Validação do Método da Reflectância no Infravermelho Proximal para Análise de Silagem de Milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 594-598, 2002.
- FONTANELI, R. S. et. al.; Predição da Composição Química de Bermudas (*Cynodon spp.*) pela Espectroscopia de Reflectância no Infravermelho Proximal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.838-842, 2004.
- GINDRI, M. **Uso do NIRS como ferramenta de diagnóstico nutricional de ovinos mantidos em pastagem natural**. 2016. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016, f.77.
- GIVENS, D. I.; DE BOEVER, J. L.; DEAVILLE, E. R. The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. **Nutrition Research Reviews**, v. 10, n. 1, p. 83-114, 1997.
- GIVENS, D. I.; DEAVILLE, E. R. The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 7, p. 1131-45, 1999.
- GOES, R. H. T. B; LIMA, H. L. **Técnicas laboratoriais na análise de alimentos**. 1. ed. Dourados: Editora UFGD, 2010. 52 p. ISBN 973-85-61228-66-8.
- HEINRICHS J & JONES CM. 2013. **The Penn State Particle Separator**. DSE 2013– 186. Disponível em: <<https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>>. Acesso em: 3 jun. 2023.

- LÓPEZ, A. et al. A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 23, p. 5413–5424, 2013.
- MONTEIRO, A. R. D, et. al. Statistical Aspects of Near-Infrared Spectroscopy for the Characterization of Errors and Model Building. **Applied Spectroscopy**. v. 71, n.7, p.1665-1676, 2017.
- NANSEN, C.; KOLOMIETS, M.; GAO, X. Considerations regarding the use of hyperspectral imaging data in classifications of food products, exemplified by analysis of maize kernels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 9, p. 2933-2938, 2008.
- NOVINSKI, C. O. **Composição de Micotoxinas e bromatologia de silagens de milho em silos de grande porte utilizando imagens em infravermelho**. 2013. Dissertação (Mestrado Ciências Veterinárias), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PADMORE, J. M. Animal feed. In: **AOAC: Official methods of analysis**. 15 ed. Washington, D. C, 1990. v. 1, p. 69-88.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p.8-36, 2018
- PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; ABREU, C. M. Secagem de material vegetal em forno de micro-ondas para determinação de matéria seca e análises químicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1252-1258, 2002
- SALMAN, A. K. et al. **Metodologia para avaliação de alimentos para ruminante doméstico**. Embrapa Rondônia, Porto Velho, 2010.
- SANTOS, C. A. T.; LOPO, M.; PÁSCOA, R. N. M. J.; LOPES, J. A. A review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. **Applied Spectroscopy**, v. 67, n. 11, p. 1215-1233, 2013.
- TIBOLA, C. S, et al. **Espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 198 p. ISBN: 978-85-7035-839-4. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1106595>>. Acesso em: 3 jun. 2023.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. D.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p. 3583- 3597, 1991.
- ZANOTTO, D. L. et al. **Análise de granulometria de milho moído**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2016. (Comunicado técnico n. 536). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158162/1/Cot538.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2023.