



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Campus Chapadão do Sul



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

VICTOR AZEVEDO FARIA

**APRENDIZAGEM DE MÁQUINA NA CLASSIFICAÇÃO DE MASTITE EM VACAS
LEITEIRAS ATRAVÉS DA ESPECTRORADIOMETRIA**

CHAPADÃO DO SUL-MS
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**APRENDIZAGEM DE MÁQUINA NA CLASSIFICAÇÃO DE MASTITE EM VACAS
LEITEIRAS ATRAVÉS DA ESPECTRORADIOMETRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Me. Aldair Felix

CHAPADÃO DO SUL-MS
2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



ATA DE DEFESA FINAL DO TCC

Bacharelado em Agronomia.

Aos vinte e nove dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e quatro, no horário das 15h às 17h, foi realizada a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do acadêmico **Victor Azevedo Faria**, intitulado **Identificação e Classificação de Mastite em Vacas Leiteiras Através da Espectroradiometria**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador Prof. Me. Aldair Félix da Silva, presidente da Banca Examinadora, constituída pelos seguintes membros: Eng^a. Agr^a. Dra. Dthenifer Santana Cordeiro e Me. Elber Vinicius Martins Silva. A Banca Examinadora avaliou o trabalho e atribuiu a nota média, no valor de **9,0 (Nove)** sendo o discente considerado **Aprovado**. Encerrados os trabalhos, os Examinadores deram ciência ao examinado da decisão. Proclamada a decisão pelo Prof. Me. Aldair Félix da Silva, presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos. E para constar eu, Anderson Abreu de Jesus, confiro e assino a presente Ata juntamente com os membros da Banca Examinadora.

Chapadão do Sul, 29 de novembro de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Aldair Félix da Silva, Professor do Magisterio Superior - Substituto**, em 29/11/2024, às 18:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Elber Vinicius Martins Silva, Usuário Externo**, em 05/12/2024, às 08:52, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Dthenifer Cordeiro Santana, Usuário Externo**, em 06/12/2024, às 13:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5282746** e o código CRC **2DA9751D**.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS	13
5. DISCUSSÃO.....	16
6. CONCLUSÃO.....	17
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

RESUMO

A produção de leite representa um setor de grande importância para o agronegócio brasileiro, tanto por questões financeiras ligadas à atividade, quanto aspectos culturais relacionados aos produtores. Apesar do grande volume produzido, existem diversas dificuldades enfrentadas pelos pecuaristas, uma das principais a mastite, inflação causada nas glândulas mamárias das vacas. Sendo assim, deve-se atentar para novos métodos que auxiliem na identificação do leite contaminado com a doença, de forma prática e confiável. O trabalho aborda a aplicação da espectrorradiometria na identificação e classificação de mastite em vacas leiteiras, comparando-a com o tradicional teste California Mastitis Test (CMT). Para a realização das análises foram utilizadas 68 amostras de leite de vacas da raça Girolando, coletadas em uma propriedade rural localizada no município de Costa Rica/MS. As amostras foram analisadas quanto ao CMT e em seguida foram submetidas a espectrorradiometria, na análise espectral das amostras foram realizadas duas leituras no sensor em cada amostra, nas quais as informações espectrais foram obtidas por meio de um espectrorradiômetro (FieldSpec 3 Jr da Analytical Spectral Devices, Longmont, CO, EUA). Os valores obtidos foram destinados a aprendizagem de máquina, incluindo algoritmos como redes neurais artificiais (RNA) árvore de decisão J48 (J48), REPTree (DT), floresta aleatória (RF) e máquina de vetores de suporte (SVM). Uma análise de regressão logística (RL) foi utilizada como modelo de controle. Os resultados mostraram que a espectrorradiometria foi eficaz na identificação de mastite, com maior precisão nas faixas espectrais visível (B-VIS) e infravermelho próximo (C-NIR). No entanto, a técnica apresentou limitações na identificação de mastite subclínica e em amostras sem infecção significativa, além de apresentar dificuldades na diferenciação dos níveis de mastite subclínica. Entre os algoritmos testados, o SL demonstrou maior acurácia. Conclui-se que a espectrorradiometria apresenta potencial como ferramenta complementar para diagnóstico da mastite.

Palavras-chave: Aprendizagem de máquina, Diagnóstico, Espectrorradiometria.

ABSTRACT

The milk production represents a sector of great importance for Brazilian agribusiness, both for financial issues linked to the activity and cultural aspects related to producers. Despite the large volume produced, there are several difficulties faced by livestock farmers, one of the main ones being mastitis, inflammation caused in the mammary glands of cows. Therefore, attention should be paid to new methods that help identify milk contaminated with the disease, in a practical and reliable way. The work addresses the application of spectroradiometry in the identification and classification of mastitis in dairy cows, comparing it with the traditional California Mastitis Test (CMT). To carry out the analyses, 68 milk samples from Girolando cows were used, collected on a rural property located in the municipality of Costa Rica/MS. The samples were analyzed for CMT and were then subjected to spectroradiometry. In the spectral analysis of the samples, two sensor readings were carried out on each sample, in which the spectral information was obtained using a spectroradiometer (FieldSpec 3 Jr da Analytical Spectral Devices, Longmont, CO, EUA). The values obtained were intended for machine learning, including algorithms such as artificial neural networks (ANN), J48 decision tree (J48), REPTree (DT), random forest (RF) and support vector machine (SVM). A logistic regression (RL) analysis was used as a control model. The results showed that spectroradiometry was effective in identifying mastitis, with greater accuracy in the visible (B-VIS) and near-infrared (C-NIR) spectral bands. However, the technique presented limitations in identifying subclinical mastitis and in samples without significant infection, in addition to presenting difficulties in differentiating levels of subclinical mastitis. Among the algorithms tested, SL demonstrated greater accuracy. It is concluded that spectroradiometry has potential as a complementary tool for diagnosing mastitis.

Keywords: Machine learning, Diagnosis, Spectroradiometry.

1. INTRODUÇÃO

A produção de leite representa uma atividade de extrema significância para o setor agropecuário brasileiro, em âmbito não só financeiro como cultural. A produção leiteira no Brasil, está estimada em 35,30 bilhões de litros em 2021 (IBGE, 2022) e se distribui por quase todo o país, tendo como destaque os Estados de Minas Gerais, Goiás, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2022). Além disso, a produção de leite se concentra em locais onde outras culturas não se adaptam ou não são realizadas, ajudando assim a estabelecer o homem no campo (Bánkuti; Caldas, 2018).

Mesmo com a grande importância da pecuária leiteira, alguns produtores possuem grande dificuldade para se manter na atividade. Segundo o Anuário do Leite ano de 2023 a redução das importações de lácteos pela China aliada à menor demanda em diversos países do mundo reduziram o preço de derivados do leite no mercado internacional. Tal queda favoreceu as importações brasileiras, impactando severamente a produção nacional (Embrapa, 2024).

Sendo assim, é possível perceber que o setor lácteo brasileiro vem passando por profundas transformações tecnológicas e, nesse ambiente, observa-se o aumento da competitividade dos produtores mais tecnificados. Com isso, intensifica-se a exclusão dos mais vulneráveis a mudanças tecnológicas e de gestão (Embrapa, 2024).

Desta forma, para que se tenha uma produção financeiramente rentável, deve-se atentar para os fatores que afetam a produção do leite, tanto ambientais como genéticos. Alguns desses fatores são clima, manejo, condições higiênico-sanitárias, nutrição, temperatura de armazenagem e transporte do leite, bem-estar animal e presença de doenças no rebanho (Pereira et al., 2010).

Um dos principais fatores ambientais, que exercem extrema influência na produção é a questão sanitária, sendo a higienização dos equipamentos da ordenha, uma ação essencial para manter a qualidade do leite. Os encarregados de retirar, manipular, armazenar, transportar o leite, são muitas vezes causadores de contaminações, mas isso pode ser prevenido através de higiene pessoal e manipulação adequada (Schvarz & Santos, 2012).

Dentre os fatores que acabam afetando negativamente a produção estão as infecções contraídas pelo rebanho, principalmente as que afetam a glândula mamária, conhecida como mastite. A mastite é uma inflamação da glândula mamária, geralmente causada por bactérias, mas também pode ser desencadeada por fungos, vírus, lesões físicas ou estresse (Cerqueira et al., 2009).

Os prejuízos causados pela doença são de extrema importância para o produtor rural, Carvalho et al. (2007) salientaram que, para a indústria, esse parâmetro se torna importante,

porque altas contagens de células somáticas estão associadas a quedas no rendimento, na produção de derivados e a alterações organolépticas no leite e derivados, bem como à redução na vida de prateleira. Além disso, algumas das principais consequências da mastite são: gasto com medicamentos, descarte de leite, perda permanente de quartos mamários, perda de animais e, principalmente, redução na produção de leite (Simões e De Oliveira, 2012)

Há alguns testes para detecção da mastite bovina como a contagem de células somáticas (CCS), exame físico do úbere, aparência do leite em uma caneca de fundo escuro, Califórnia Mastitis Test (CMT), cultura e antibiograma (Costa et al., 2017). Com os testes citados é possível realizar uma primeira classificação entre mastite clínica ou subclínica, além disso, pode-se subdividir os níveis de mastite subclínica de acordo com o grau de resposta no teste. Essa subdivisão ocorre de acordo com a quantidade de CCS no leite, de modo que nos testes comumente utilizados é possível realizar a separação de forma satisfatória. Apesar dos testes para detecção de mastite supracitados serem amplamente utilizados, tem-se pensado em novas maneiras de avaliação da doença. Uma maneira que poderia trazer grandes avanços pela alta precisão seria a análise via espectrorradiometria.

Alguns pesquisadores vêm utilizando a técnica anteriormente citada na agropecuária, tanto na agricultura quanto pecuária. Paz (2009) utilizou a espectrorradiometria para avaliar as diferenças de comportamento espectral em toda a extensão de bandas medidas por sensor hiperespectral no ambiente de laboratório identificando respectivas assinaturas das gramíneas. Por sua vez, Borges (2015) analisou o potencial de dados espectrorradiométricos de campo para estimar porcentagem de cobertura vegetal verde de pastagens cultivadas. Já Alba (2020) teve como objetivo relacionar e simular as variáveis físico-químicas (Al, Ca, K, MO e P) do solo em função das bandas espectrorradiométricas.

Há muito tempo já é sabido que a mastite está atrelada ao fato do grande aumento da quantidade de células somáticas (CCS) no leite e isso pode justificar os resultados apresentados. Segundo KITCHEN (1981), o leite obtido de quartos mamários de animais sadios contém de 50 a 200 mil células/mL. Na dependência da severidade e extensão da infecção e, do tipo de microrganismo envolvido, as contagens podem variar de 200 a 5.000×10^3 células/mL de leite. Desta forma, a alta quantidade de células somáticas pode estar atrelada a identificação do tipo e grau de mastite pelo espectrorradiômetro.

Visando obter maior confiabilidade no estudo, após análise obtidas pelo sensor hiperespectral é preciso realizar a análise probabilística, de modo a prever o comportamento de uma variável dependente. Sendo assim, uma nova abordagem vem sendo utilizada, conhecida

como aprendizagem de máquina. O aprendizado de máquina (AM) é uma área da inteligência artificial voltada à construção de sistemas capazes de induzir hipóteses ou aproximar funções a partir da experiência acumulada em problemas anteriores (Faceli et al., 2011).

Sendo assim, percebe-se a importância da espectrorradiometria para a agropecuária, sendo já utilizada diversas vezes na bovinocultura, com foco na análise de pastagens. Desta forma, o presente estudo tem como intuito identificar a assinatura espectral de níveis de mastite, além de selecionar o melhor algoritmo de aprendizagem de máquina na classificação dos níveis de mastite utilizando reflectâncias hiperespectral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A pecuária leiteira representa importante atividade agropecuária para o agronegócio mundial. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016), órgão da ONU, aproximadamente 150 milhões de lares em todo o mundo estão envolvidos na produção leiteira, sendo característica da maioria dos países em desenvolvimento a produção a partir de pequenos agricultores, pois fornece retorno rápido aos produtores de pequena escala.

Nos últimos 50 anos, a produção de leite no Brasil tem crescido sistematicamente, mesmo nos ambientes de intervenções do governo via planos econômicos, preços controlados, importações e desregulamentação da economia (Vilela et al., 2017). Ademais, a agropecuária brasileira vem passando por diversas transformações, inclusive tecnológicas, o que não é diferente na pecuária de leite. Alves et al. (2012), comparando o período de dez anos da série histórica do IBGE (1996–2006), afirmaram que 68% do incremento da produção nacional é explicado pela adoção de tecnologias, que a elevação do trabalho responde por 22% e que apenas 9,6% vêm da expansão da área cultivada.

Deve-se destacar, contudo, que a adoção de tecnologias na produção está concentrada em um grupo de produtores específico, cuja eficiência na produção se diferencia bastante do sistema utilizado em décadas anteriores. No setor leiteiro, uma das mudanças perceptíveis é a concentração da produção num número menor de estabelecimentos – 200 mil produtores já respondem por 82% da produção nacional (Vilela et al., 2017). Outro dado que colabora com a afirmação que os produtores mais eficientes se mantêm na atividade é o fato de a queda no número de produtores de leite não ter impactado negativamente a evolução da produção. De modo que a produção tem crescido linearmente desde 1961. Enquanto a produção cresceu 87%, o número de produtores caiu mais da metade em relação a 1996 (IBGE, 2016).

Para que o produtor possa ser eficiente na produção leiteira, deve-se atentar para alguns fatores. Um dos principais pontos quando se trata de fatores que influenciam a produção leiteira

é a nutrição animal, ao passo que uma boa dieta deve suprir a necessidade de energia, conter níveis adequados de proteína e atingir as necessidades de vitaminas e minerais. Qualquer desequilíbrio destas, podem acarretar baixos índices de desempenho (Berchielli et al., 2011)

Outra questão imprescindível é a qualidade da água, de modo que a produção de leite seguro e de qualidade depende, em grande parte, da qualidade da água utilizada em todas as etapas do processo. A água é fundamental para a saúde dos animais, para a higienização das instalações e para garantir a ausência de contaminantes no leite. Desse modo, o uso de água tratada e a higienização adequada dos equipamentos são práticas essenciais para garantir a segurança alimentar e a saúde pública (Cerqueira et al., 2009).

Ademais, deve-se atentar ao bem-estar animal, ao passo que o estresse compromete a saúde dos animais, reduzindo o apetite e debilitando o sistema imunológico, o que os torna mais suscetíveis a doenças. Instalações inadequadas, com falta de higiene, ventilação insuficiente e irregularidades no piso, causam dor, desconforto e estresse, afetando diretamente o bem-estar animal (Rodrigues et al., 2010).

Todos os fatores supracitados, somados a boas práticas sanitárias auxiliam na prevenção da mastite. A doença pode trazer impactos significativos na produção, acarreta graves prejuízos econômicos, como redução da produção leiteira e gastos com tratamentos (Costa et al., 1995). Um dos grandes problemas da mastite no rebanho é a sua prevalência silenciosa, ou seja, subclínica, determinando perdas de até 70%, enquanto 30% devem-se à mastite clínica (Santos, 2001). Ela surge da interação entre o animal, microrganismos e o ambiente, podendo ser clínica (com sinais visíveis) ou subclínica (sem alterações aparentes). A mastite subclínica, por não apresentar sintomas evidentes, é mais difícil de diagnosticar e tratar, mas causa alterações significativas na qualidade do leite (Martins et al., 2010).

Os principais testes para avaliação de mastite são a contagem de células somáticas (CCS) e o Califórnia Mastitis Test (CMT). Segundo Laranja & Amaro (1998) a contagem de células somáticas (CCS) é um exame que avalia a saúde da glândula mamária de animais em lactação. Ao medir o aumento de células de defesa no leite, a CCS indica o nível de infecção do úbere. Já o teste CMT é um método indireto, que avalia a quantidade de células somáticas do leite, sob a ação de um detergente aniônico capaz de romper a membrana celular. A formação do gel ocorre pela interação dos ácidos nucléicos celular com o detergente (Rosemberg, 1993).

São os dois testes citados, os principais utilizados na identificação de mastite, contudo tem-se pensado em outros mecanismos para o diagnóstico precoce da doença. Uma técnica que possivelmente possa ser empregada é a espectrorradiometria, análise definida como a medida

da distribuição da energia radiante, no caso da refletância propriamente dita. No espectrorradiômetro, em condições laboratoriais, a energia eletromagnética proveniente da fonte, no caso, uma lâmpada, ao atingir a superfície de um objeto com ela interagirá por meios de trocas de energia que resultará em uma absorção, reflexão e/ou transmissão de parte da energia incidente (Paz, 2009).

A espectrorradiometria de refletância, seus princípios básicos e antecedentes, apresentam-se como potencial aplicação para agricultura de precisão. No entanto seu uso ainda é limitado, seja pela quantidade de dados gerados ou pela natureza sofisticada da sua interpretação (Alba, 2020). Dito isso, é nítida a quantidade de estudos utilizando a técnica como forma de análise de feições de vegetação em campo, identificação de problemáticas nas lavouras e até monitoramento ambiental.

Sendo assim, o estudo tem como intuito identificar e classificar mastite em vacas leiteiras utilizando espectrorradiometria, além de determinar a eficácia da técnica como método de diagnóstico precoce da mastite. Para isso, a eficiência da análise por espectrorradiometria será comparada com o teste CMT, amplamente utilizado na atividade de pecuária leiteira, inclusive pelos próprios produtores rurais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de leite de vaca em uma propriedade rural localizada em Costa Rica/MS, distante de Chapadão do Sul cerca de 75 km, nas coordenadas geográficas 18°32'24.0"S 53°14'31.0"W. Foram coletadas de forma manual 68 amostras de leite, sendo 4 amostras por vaca em um total de 17 vacas da raça Girolando, cada amostra foi acondicionada em um frasco coletor e identificado com o número do animal.

Após a finalização da amostragem o leite foi levado para Universidade Federal de Mato Grosso do Sul no Campus de Chapadão do Sul a fim de realizar o teste California Mastitis Test (CMT). No teste California Mastitis Test (CMT) foi utilizada a solução de violeta de bromocresol, a qual foi alocada em uma proporção de 1:1 com o leite em quatro cavidades presentes na raquete de CMT, na sequência foi realizada agitação cuidadosamente e em seguida analisada a coagulação por meio da reação das células imunes.

O grau de mastite foi classificado da seguinte forma: clínica (CL): presença visível de grumos no leite, subclínica grau 3 (N3): Gelificação intensa, com formação de massas ou coágulos claros durante o teste, subclínica grau 2 (N2): Gelificação moderada, com início de separação clara entre fases (líquido e gel), subclínica grau 1 (N1): Leve viscosidade ou

gelificação do leite no teste, sem separação significativa de fases, sem mastite (N0): ausência de grumos visíveis e de reações no teste CMT.

Na análise espectral das amostras foram realizadas duas leituras no sensor em cada amostra, nas quais as informações espectrais foram obtidas por meio de um espectrorradiômetro (FieldSpec 3 Jr da Analytical Spectral Devices, Longmont, CO, EUA). A faixa de leitura é de 1,4 nm na faixa de 50 a 1.050 nm e 2 nm na faixa de 1.000 a 2.500 nm. Possui resolução espectral de 3 nm na faixa de 350 a 700 nm e 30 nm na faixa de 1400 a 2100 nm, obtida por meio de uma sonda vegetal ASD. O equipamento foi calibrado utilizando uma placa branca de sulfato de bário que reflete 100% da luz.

Os dados foram submetidos à análise de aprendizado de máquina (ML) utilizando os seguintes algoritmos: redes neurais artificiais (MP), árvore de decisão J48 (J48), REPTree (DT), floresta aleatória (RF) e máquina de vetores de suporte (SVM). Uma análise de regressão logística (SL) foi utilizada como modelo de controle. Os parâmetros dos algoritmos foram definidos conforme configuração padrão do software Weka 3.8.5 (Bouckaert et al., 2010), exceto para MP, onde foram definidos 10 neurônios na primeira camada e 10 neurônios na segunda camada. Weka é um software de código aberto que reúne diversos algoritmos de aprendizado de máquina para tarefas de mineração de dados. Torna possível lidar com diversas tarefas com dados como classificação, regressão, clustering, mineração de regras de associação e visualização.

A MP consistia em perceptron multicamadas usando um algoritmo de retropropagação com taxa de aprendizado igual a 0,3, momento igual a 0,2 e número de épocas igual a 500. J48 é um algoritmo classificador que usa uma etapa de poda adicional baseada em uma estratégia de redução de erros (Snousy et al., 2011). Para o algoritmo J48, o parâmetro adotado para o número mínimo de instâncias permitidas em um nó folha foi 4 e foi utilizada uma poda. REPTree (DT) é uma lógica de árvore de decisão que seleciona a melhor árvore usando ganho de informação e realiza poda de redução de erros como critério de divisão. O padrão do Weka para o algoritmo DT não usa restrição para profundidade de árvore e um peso total mínimo das instâncias em uma folha igual para 2,0. O algoritmo RF cria diversas árvores de predição e usa um esquema de votação entre todas as árvores aprendidas para prever novos valores (Belgiu; Drăgu, 2016). Para o algoritmo RF, o número de árvores geradas foi 100, o número de slots de execução a serem utilizados para a construção do conjunto foi igual a 1 e os demais hiperparâmetros foram ajustados usando configurações padrão. SVM realiza tarefas de classificação construindo hiperplanos no espaço multidimensional para distinguir diferentes classes (Rajvanshi;

Chowdhary, 2017). A análise SVM foi realizada utilizando a Biblioteca LibSVM (Chang; Lin, 2011) do Weka, adotando a configuração padrão do software, em que o tipo de kernel é função de base radial, o grau do kernel é igual a 3,0, tolerância do critério de terminação (eps) é $1,0 \times 10^{-4}$ e o parâmetro de custo é igual a 1,0.

A precisão da classificação dos algoritmos, foram estimados o percentual de classificações corretas (CC) e o Fscore. Em seguida, foi realizada análise de variância, adotando-se delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para agrupamento das médias do CC e do Fscore, adotou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O software Rbio versão 162 (Bhering, 2017) e os pacotes ExpDes.pt e ggplot2 do software R versão 4.1.0 (Team et al., 2013) foram utilizados para todas as análises estatísticas.

4. RESULTADOS

Conforme verificado na figura 4 as amostras de leite de vacas com grau de mastite classificadas com “clínicas” foram as que mais apresentaram reflectância, diferente das classificadas com mastite subclínica ou sem nenhum processo inflamatório da glândula mamária, que não apresentaram grande diferenciação entre si.

Além disso, deve-se destacar a informações obtidas na figura 1, de modo a ser plausível dizer que na faixa do visível (B-VIS) e infravermelho próximo (C-NIR) se obteve maior sucesso na identificação das amostras de leite classificadas com “mastite”. Ademais, pode-se dizer que nos espectros de comprimento onde a faixa de leitura é de 2 nm na faixa de 1.000 a 2.500 nm a identificação foi menos eficiente, o que pode estar atrelado a menor resolução espectral em relação a faixa de 350 a 700 nm.

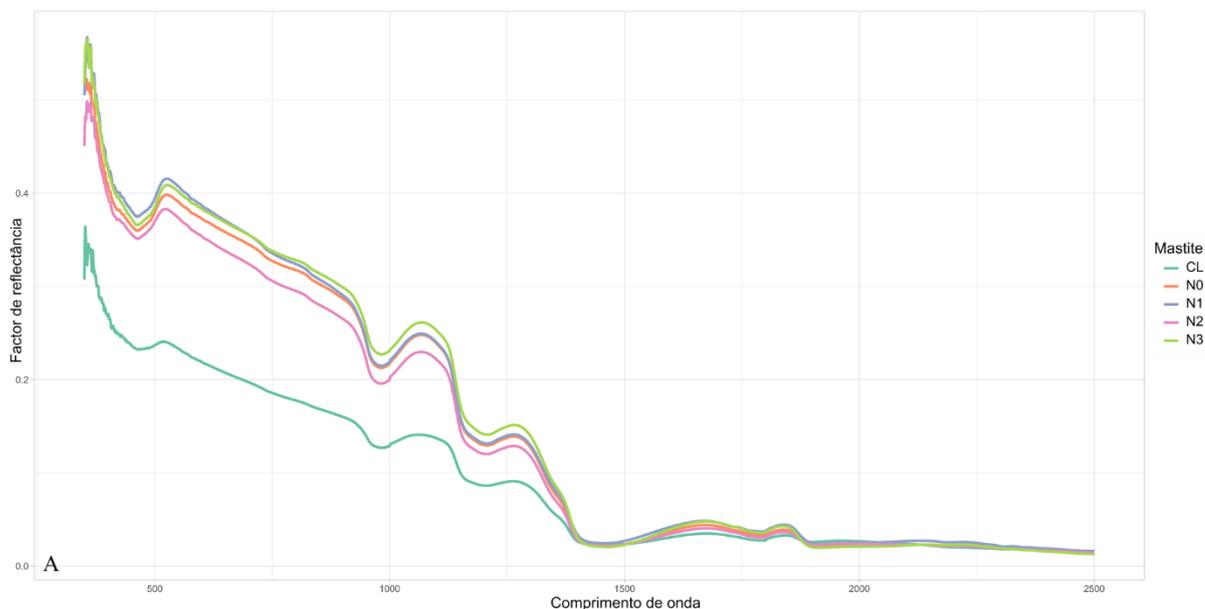


Figura 2: Curva hiperespectral para os graus de mastite em leite de vaca (A) com ênfase na faixa do visível (B-VIS) e no infravermelho próximo (C-NIR).

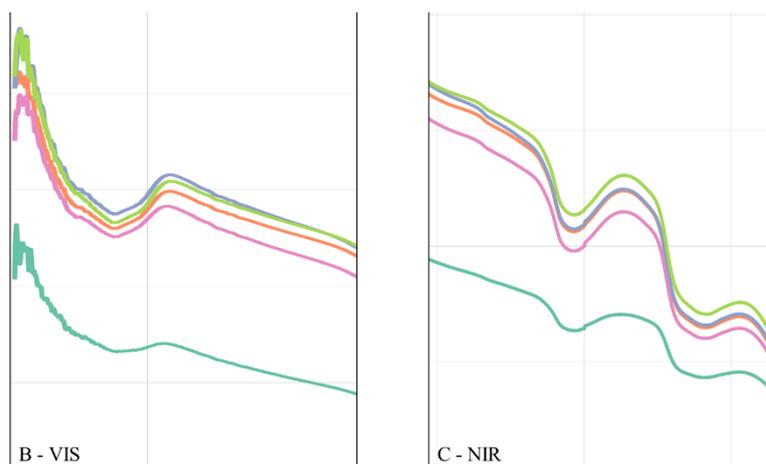


Figura 2: Curva hiperespectral para os graus de mastite em leite de vaca (A) com ênfase na faixa do visível (B-VIS) e no infravermelho próximo (C-NIR).

Analisando as médias modelos obtidas a partir da análise de aprendizado de máquina para a métrica de acurácia classificação correta o algoritmo que melhor expressou a classificação dos graus de mastite foi o SL, seguidos dos algoritmos RF e SVM que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Por fim os que menos conseguiram identificar mastite foram J48, MP e REPTree, não apresentando diferença estatística entre si.

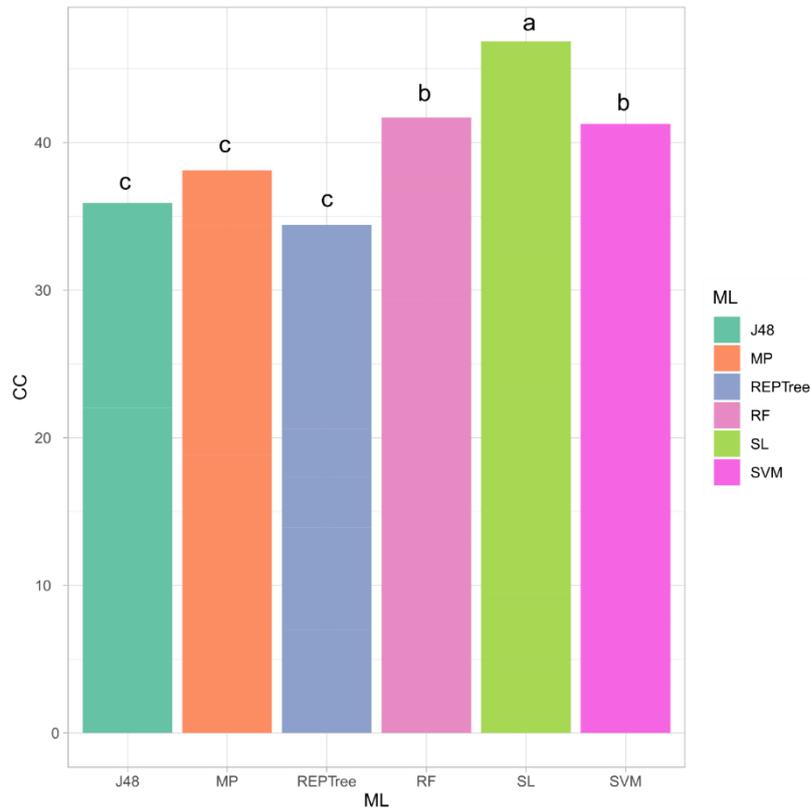


Figura 3: Comparação de médias para os modelos de aprendizagem de máquina para a métrica de acurácia classificação correta na classificação de graus de mastite em leite de vaca. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Na figura 3 foi possível verificar a classificação das médias para a métrica de acurácia Fscore, mostrando novamente o algoritmo SL como melhor para descrever a mastite presente no leite bovino, além de não haver diferença estatística entre os outros algoritmos.

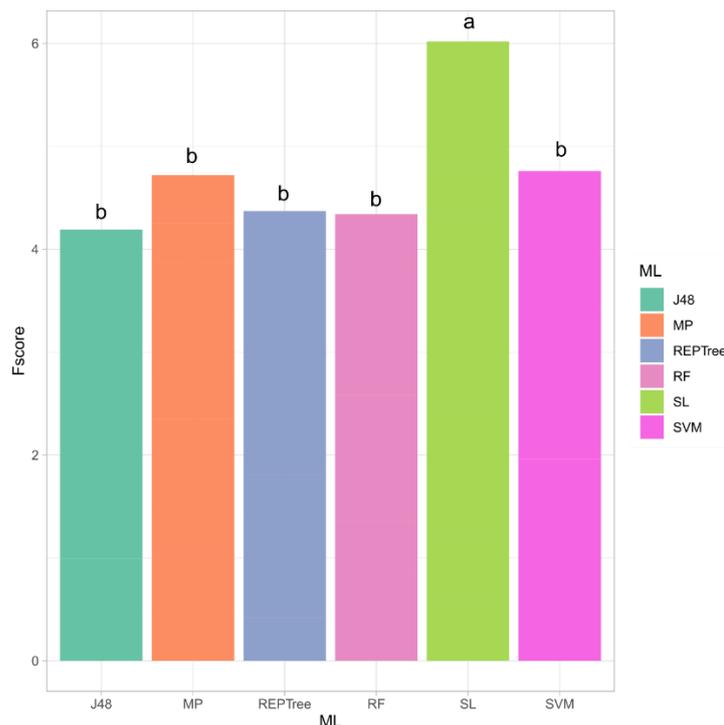


Figura 4: Comparação de médias para os modelos de aprendizagem de máquina para a métrica de acurácia Fscore na classificação de graus de mastite em leite de vaca. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo são coerentes com as tendências recentes descritas na literatura, as quais destacam a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e no médio (MIR), abrangendo uma faixa de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} como ferramentas promissoras para análises rápidas e precisas. Estudos como o de Barbosa (2013) evidenciam o potencial da espectroscopia para identificar compostos orgânicos em diferentes matrizes, incluindo leite, devido à capacidade de detectar variações moleculares através da absorção de radiação. Esse princípio sustenta a aplicação do espectrorradiômetro no diagnóstico de mastite ao identificar mudanças associadas ao aumento de células somáticas no leite.

Almeida Júnior (2018) demonstra a eficácia da espectroscopia FT-MIR-ATR (abrangendo uma faixa de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1}) para determinar o teor de proteína em soro de leite, corroborando o uso de técnicas espectroscópicas em análises de qualidade do leite. Da mesma forma, os resultados deste trabalho sugerem que a faixa do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) são adequadas para diferenciar amostras de leite com mastite clínica, confirmando a importância dessas bandas espectrais.

Segundo Gastélum-Barrios et al. (2020), a precisão dos métodos espectroscópicos pode ser comprometida por fatores como baixa resolução espectral ou ruído em faixas específicas, o que justifica os resultados menos expressivos para mastites subclínicas nas bandas de maior comprimento de onda.

Além disso, Diaz-Olivares et al. (2020) destacam que sistemas baseados em sensores NIR integrados a fazendas têm mostrado resultados promissores em análise online da composição do leite, sugerindo que a tecnologia do presente estudo poderia ser adaptada para diagnósticos em tempo real, aumentando sua viabilidade prática.

Conforme demonstrado anteriormente, o algoritmo que melhor expressou sinais de mastite foi a regressão linear, havendo variação estatística entre todos os outros algoritmos. Uma hipótese que pode ajudar a explicar o resultado de uma técnica simples obter melhor resultado é a grande quantidade de informações disponíveis, de modo que esse tipo de análise tende a reproduzir melhor a realidade com bom embasamento de dados.

Por fim, deve-se ressaltar que esse tipo de comparação entre o teste CMT e via espectrorradiometria ainda é algo bastante recente e os estudos devem continuar sendo realizados para obter resultados mais concretos. Além disso, sugere-se também mais pesquisas a fim de verificar a relação de análise via espectrorradiometria e contagem de células somáticas, de modo a entender melhor como o teste pode expressar melhor a quantidade de células no leite.

6. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos é possível concluir que a análise por meio do espectrorradiômetro se mostrou confiável para identificação de mastite clínica nas amostras de leite. Entretanto para as amostras classificadas com mastite subclínica ou sem infecção, os resultados não foram obtiveram o mesmo sucesso, de modo que nenhum dos algoritmos foi capaz de realizar diferenciação significativa entre os casos de baixa contagem de células somáticas.

Ademais, é plausível dizer também que possivelmente a melhor identificação pelo espectrorradiômetro está atrelada a altas concentrações de CCS. Uma hipótese que ajuda a explicar é a diferente configuração das células somáticas, compostas de leucócitos, que por sua vez podem ter níveis de reflectância diferentes do restante do leite em relação a sensor hiperespectral. Sendo assim, seria interessante que essa relação fosse investigada com mais

cuidado, a fim de averiguar qual a composição exata das CCS e como se comportam em relação ao espectrorradiometro.

Ademais, para próximas análises o algoritmo mais indicado para a identificação de mastite no leite pode ser o SL, de modo que apresentou diferença estatística entre todos os outros, sendo o que obteve mais sucesso nas comparações de médias para os modelos de aprendizagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, J. M. F.; CRUZ, L. E. C.; DUCATI, J. R.; DOMINGUES, J. M. M.; MORAES, J. O.; CUNHA, H. N. Espectrorradiometria na agricultura de precisão: estudo de caso em solos de terras baixas, Capão do Leão, RS, Brasil. In: OLIVEIRA, R. J. de (Org.). Agricultura em foco: tópicos em manejo, fertilidade do solo e impactos ambientais. **Guarujá: Científica**, v. 1, cap. 27, p. 193-202, 2020.

ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. da S.; ROCHA, D. de P. Lucratividade da agricultura. **Revista de Política Agrícola**, ano 21, n. 2, p. 45-63, abr./jun. 2012.

BÁNKUTI, F. I.; R. C. PRIZON; J. C. DAMASCENO; M. M. DE BRITO; M. S. S. POZZA; P. G. L. LIMA. Farmers' actions toward sustainability: a typology of dairy farms according to sustainability indicators. *Animal*. 14, s417-s423. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000750>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731120000750?via%3Dihub.5> jun 2022.

BERCHIELLI, T. T., PIRES, A. V. & OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. FUNEP, Jaboticabal, Brasil, 2011.

BORGES, K.L.C. Dados Espectrorradiométricos de Campo e Índices de Vegetação para Estimar Porcentagem de Cobertura Vegetal Verde de Pastagens Cultivadas. 92f. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ARVALHO, L.B.; AMARAL, F.R.; BRITO, M.A.V.P.; LANGE, C.C.; BRITO, J.R.F.; LEITE, R.C. Contagem de células somáticas e isolamento de agentes causadores de mastite em búfalas (*bubalus bubalis*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.1, p.242-245, 2007.

CERQUEIRA, M. M. O. P., Vargas, R. T., Cunha, A. F., Lage, A. D., Fonseca, L. M., Rodrigues, R., Oliveira Leite, M., Penna, C. F. A. M. & Souza, M. R. Mastite em novilhas: importância e controle. **Ciência Animal Brasileira**, 2009.

COSTA, E. O., CARCIOFI, A. C., BENITES, N. R., MELVILLE, P. A. Estudo etiológico da mastite clínica bovina. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Anuário Leite: Avaliação Genética Multirracial, 2024. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1164754/anuario-leite-2024-avaliacao-genetica-multirracial>>.

Acesso em: 15 nov. 2024.

FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 378p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Dairy Production and Products – Milk Production**. 2016.

IBGE. Censo agropecuário de 1995-1996. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/1995_1996/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, RJ, 2018. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=o-que-e>. 25 abr. 2022.

KITCHEN, B. J. Review of the progress of dairy science: Bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. **Journal of Dairy Research**, v.48, n. p.167-188, 1981.

LARANJA, L.F; AMARO, F. Contagem de células somáticas: conceitos e estratégias de controle. **Balde Branco**, v. 35, p. 28-34, 1998.

MARTINS, R. P., Silva, J. A. G., Nakazato, L., Dutra, V. & Almeida Filho, E. S. Prevalência e etiologia infecciosa da mastite bovina na microrregião de Cuiabá-MT. **Ciência Animal Brasileira**, 2010.

RODRIGUES, A. L., SOUZA, B. B. & PEREIRA FILHO, J. M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 6, 14-22, 2010.

ROSEMBERGER, G. **Exame Clínico dos Bovinos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan SA, 1993. p.306.

PAZ, C.R.; Saquet, D.B.; Ferraz, R.C.; Giroto, J.; Pereira, R.S. & Costa, V.P. Discriminação de diferentes espécies de pastagens com uso da espectrorradiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, 2009. **Anais**, Natal, INPE, p. 1175 – 1181, 2009.

PEREIRA, E. S., Pimentel, P. G., Queiroz, A. C. & Mizubuti, I. Y. Novilhas leiteiras. Graphiti Gráfica e Editora Ltda, Fortaleza, Ceará, 2010.

SANTOS, M.C. Curso sobre manejo de ordenha e qualidade do leite. Vila Velha: UVV, 2001. 57p.

SIMÕES, T.V.M.D.; OLIVEIRA, A.A. Mastite Bovina, Considerações e Impactos Econômicos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, (Boletim Técnico, 170), 2012.

SCHAVARZ, D. W. & SANTOS, J. M. G. Mastite bovina em rebanhos leiteiros: Ocorrência e métodos de controle e prevenção. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 5, 453-473, 2012.

TEAM, R. C. others R: A language and environment for statistical computing. GBIF: Copenhagen, Denmark, 2013.

VILELA, D.; RESENDE, J. C. D.; LEITE, J. B.; ALVES, E. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no Infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2013, 189 p.

Qu, J.-H., Liu, D., Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Ma, J., Pu, H., & Zeng, X.-A. (2015). Applications of near-infrared spectroscopy in food safety evaluation and control: A review of recent research advances. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 55(13), 1939–1954.

Gastélum-Barrios, A., Soto-Zarazúa, G. M., Escamilla-García, A., Toledano-Ayala, M., Macías-Bobadilla, G., & Jauregui-Vazquez, D. (2020). Optical methods based on ultraviolet, visible, and near-infrared spectra to estimate fat and protein in raw milk: A review. **Sensors**, 20(12), 3356.

Diaz-Olivares, J. A., Adriaens, I., Stevens, E., Saeys, W., & Aernouts, B. (2020). Online milk composition analysis with an on-farm near-infrared sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**, 178, 105734.