



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Agronegócio 4.0



Marcos Roberto Bombacini
Michelle Marques Piranha
Nicole Raíssa Pagnussatti
Renato Tratch
Sabrina Masiero de Campos

**Ferramenta de análise para incremento de tecnologia de precisão na
bovinocultura leiteira**

TOLEDO
2024

Marcos Roberto Bombacini
Michelle Marques Piranha
Nicole Raíssa Pagnussatti
Renato Tratch
Sabrina Masiero de Campos

**Ferramenta de análise para incremento de tecnologia de precisão na
bovinocultura leiteira**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Agronegócio 4.0, Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Dr. Fernando Deschamps e Prof. Mauricio Guy de Andrade

**TOLEDO
2024**

RESUMO

O uso de inteligência artificial (IA) na pecuária leiteira tem potencial transformador. A proposta principal é implementar sistemas baseados em IA para analisar imagens e identificar sinais de estro com maior precisão e eficiência do que os métodos tradicionais. O estudo avalia o impacto da utilização de datasets de imagens e algoritmos de aprendizado de máquina para monitorar o comportamento das vacas, identificando padrões relacionados ao ciclo estral. Os resultados mostram que a aplicação de IA permite uma detecção mais rápida e acurada do estro, reduzindo o tempo e o esforço necessários para a observação manual. Além disso, o uso de imagens facilita a análise contínua e objetiva, melhorando a gestão reprodutiva e potencialmente aumentando a produtividade do rebanho. A conclusão sugere que a integração de tecnologias de IA na pecuária leiteira não só melhora a eficiência na detecção do estro, mas também pode contribuir para práticas mais sustentáveis e lucrativas. Recomenda-se a continuidade da pesquisa para aperfeiçoar os algoritmos e expandir a aplicação da tecnologia.

Palavras-chave: inteligência artificial, pecuária leiteira, detecção do estro, aprendizado de máquina, análise de imagens.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E SITUAÇÃO-PROBLEMA.....	5
1.1. Contextualização.....	5
1.2. Situação-Problema.....	5
1.3. Justificativa	6
1.4. Objetivos	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1. Colares com Sensores	10
2.1.1. Custos.....	11
2.2. Compost Barn	11
2.3. Ordenha Robotizada	13
2.4. Datasets de Imagens.....	15
3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA.....	16
3.1. Detecção Eletrônica do Estro em Vacas Leiteiras utilizando InteligênciaArtificial.....	16
3.1.1. Descrição e Objetivo Geral do Projeto.....	16
3.2. Conjunto de Dados.....	17
3.3. Aprendizado de Máquina - Visão Computacional	17
3.4. Desempenho e Teste	19
3.5. Resultado e Testes.....	21
3.5.1. Ordenha Robotizada - Proposta de Solução	21
Meses Produção.....	22
Meses Produção.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
5.1. SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO E SITUAÇÃO-PROBLEMA

1.1. Contextualização

Nos últimos anos, a pecuária leiteira tem testemunhado uma mudança significativa na sua produção devido à adoção crescente de tecnologias inovadoras. A demanda por eficiência e aumento de produtividade faz com que os produtores busquem alternativas para monitorar e gerenciar os rebanhos de forma eficaz.

O país ainda possui um grande potencial a ser explorado, principalmente em termos de ganhos de produtividade, de modo a se tornar também um dos principais líderes do mercado global de leite e derivados (ROCHA et al., 2020).

A implementação de sistemas de compost barn, colares com sensores, equipamentos para detecção de cio e ordenha robotizada são algumas das inovações que estão revolucionando a cadeia de produção, pois essas tecnologias permitem uma maior atenção ao comportamento e saúde dos animais, fornecendo dados em tempo real, permitindo assim a tomada de decisões mais assertivas. A importância do gerenciamento se deve ao fato da renda do produtor estar relacionada diretamente com a quantidade e qualidade de leite produzido.

1.2. Situação-Problema

Embora as inovações tecnológicas ofereçam um grande potencial para melhorar a eficiência e rentabilidade, os produtores se deparam muitas vezes com desafios e incertezas na tomada de decisão sobre qual a melhor tecnologia a ser implementada em sua propriedade, naquele momento de desenvolvimento. Um dos principais obstáculos é a avaliação de ganhos potenciais em relação aos custos e riscos associados que, apesar dos benefícios de sua implementação, nem sempre são claros ou garantidos. Atualmente o *payback* é a principal forma de orientar o produtor, considerando que é uma forma simples pois representa o período de tempo necessário para que se pague o investimento. A tecnologia, o retorno, a afinidade são muito mais um processo de venda do que uma tomada de decisão racional. Isto faz com que se observe a campo a aquisição de equipamentos super ou subdimensionados ou que não resultam no incremento de qualidade e produtividade,

neste caso, do leite. O impacto direto é a desacreditação do potencial de tecnologia pela comunicação entre os produtores (stakeholders).

1.3. Justificativa

Existem preocupações sobre a complexidade e confiabilidade dessas novas tecnologias. Os produtores têm receios devido à necessidade de operar e manter sistemas complexos, bem como falhas técnicas, mas a principal relutância na mudança ainda é a preferência pelo modo conhecido de gestão de sua propriedade. Essas preocupações podem evitar a adoção de novas tecnologias, mesmo quando elas possuem um grande potencial.

A grande variedade de opções no mercado podem fazer com que o produtor não saiba por onde começar ou qual tecnologia é mais adequada à sua necessidade, considerando ainda que:

- Cada propriedade é única, com diferentes tamanhos de rebanho, infraestrutura, práticas de manejo e objetivos diferentes. Portanto deve ser considerado um contexto específico para cada produtor, que tem a gestão integral do processo produtivo.
- O investimento financeiro é representado, não só pelos custos iniciais de aquisição e instalação, mas também os custos de manutenção, suporte e treinamento. Além de um fator, poucas vezes incorporado no cálculo que é o tempo gasto pelo produtor com esta nova tecnologia.
- A análise de retorno sobre o investimento, faz-se necessária para que os produtores possam calcular e comparar o potencial retorno de diferentes tecnologias em função dos planejamentos futuros.

Nem sempre as tecnologias atendem as expectativas, muitas vezes podem ser estratégias de venda e não soluções eficazes. Então é necessário que antes de qualquer investimento, haja uma avaliação cuidadosa dos custos e benefícios, com dados reais da propriedade. Esses dados reais e autênticos fazem com que se tenha uma predição se a propriedade está apta ou não para aquela tecnologia. Caso a tecnologia específica não seja a indicada, surge outro questionamento: qual então é a indicada? Se o produtor tem os dados precisos da propriedade, é possível

tecnicamente propor a melhor estratégia para aquele momento da propriedade. Caso ele não os tenha, a opção seria utilizar dados de outros produtores com perfis de desenvolvimento semelhantes. O que aparentemente é simples, torna-se complexo pelas inúmeras interações que ocorrem em um sistema de produção de leite. Esta complexidade é resolvida com o feeling (instinto, intuição) do técnico ou do gestor. Este tipo de tomada de decisão cria um estado de incerteza e insegurança principalmente se não se tem mecanismos de monitoramento dos indicadores chaves de desempenho (KPI).

1.4. Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar uma proposta de plataforma capaz de calcular, avaliar o risco econômico-financeiro e indicar se uma tecnologia, a ser implantada em uma propriedade de bovinocultura leiteira, responderá à complexidade dos processos de forma assertiva, sob determinado custo de incorporação, atendendo aos valores projetados pelo bovinocultor.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

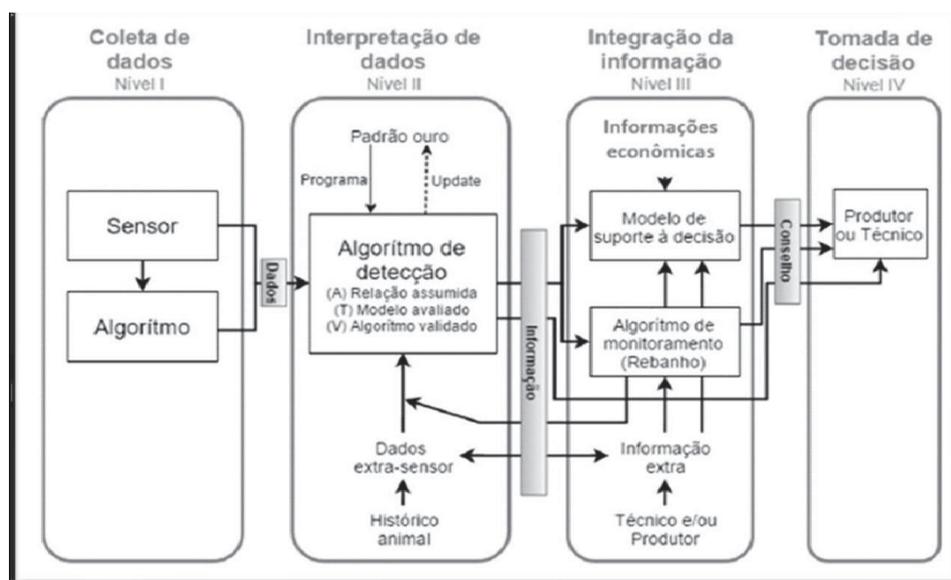
A pecuária leiteira no Brasil está passando por uma transformação significativa impulsionada pela adoção crescente da tecnologia de precisão, oferecendo aos produtores novas ferramentas para maximizar a eficiência e produtividade. A PLP (pecuária leiteira de precisão) pode ser definida como um conjunto de tecnologias que permitem a melhoria no desempenho de uma propriedade de leite, onde é possível mensurar indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício do bem-estar animal e consecutivos ganhos em produtividade (DE LEITE, 2015)

Ademais temos o desafio de estabelecer um vínculo permanente entre a segurança do consumidor, o bem-estar animal, o controle de qualidade e a sustentabilidade econômica. Para obtenção desses resultados, a implantação do conceito da zootecnia de precisão na bovinocultura leiteira, concentra-se na inclusão da tecnologia para obtenção de maiores dados, visando à qualidade do produto final, aumento de produção e bem-estar dos animais (ALONSO et al., 2020).

Segundo De Leite (2015), às tecnologias que utilizam sensores são categorizadas em quatro níveis de entendimento:

- 1) O sensor que mensura parâmetros individuais de cada animal, gerando um conjunto de dados.
- 2) A interpretação dos dados, como por exemplo: aumento da ruminação para monitorar o estresse calórico.
- 3) Integração das informações fornecidas pelos sensores juntamente com outras informações de caráter econômico para decidir quais as melhores decisões a serem tomadas.
- 4) E por fim, a tomada de decisão pelo gestor da propriedade, como pode ser visualizado na figura a seguir.

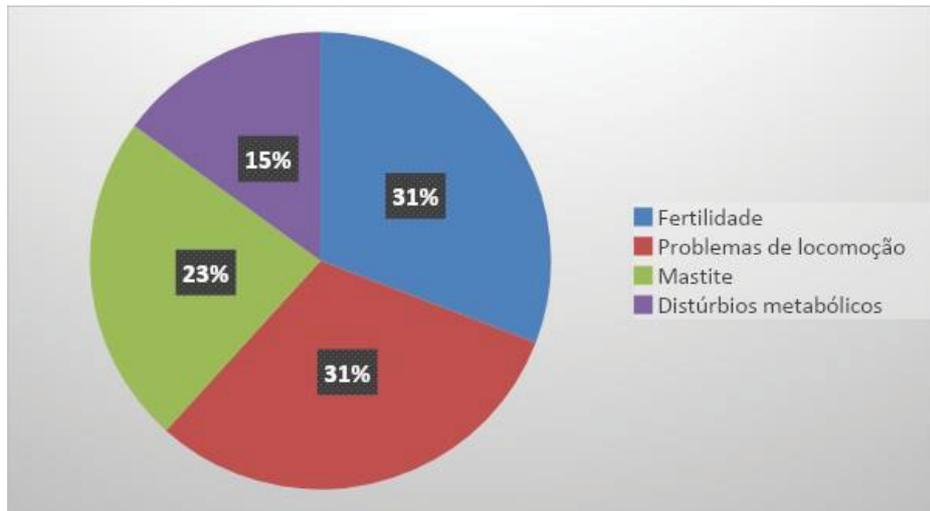
Figura 1 – Diagrama do fluxo de dados para tomada de decisão.



Fonte: Da Silva et al (2021)

Os estudos sobre as tecnologias são majoritariamente relacionados a detecção de mastites, fertilidade, problemas de locomoção e distúrbios metabólicos

Figura 2 - Direcionamento dos estudos das tecnologias de precisão na pecuária leiteira.



Fonte: Adaptado de De Leite (2015).

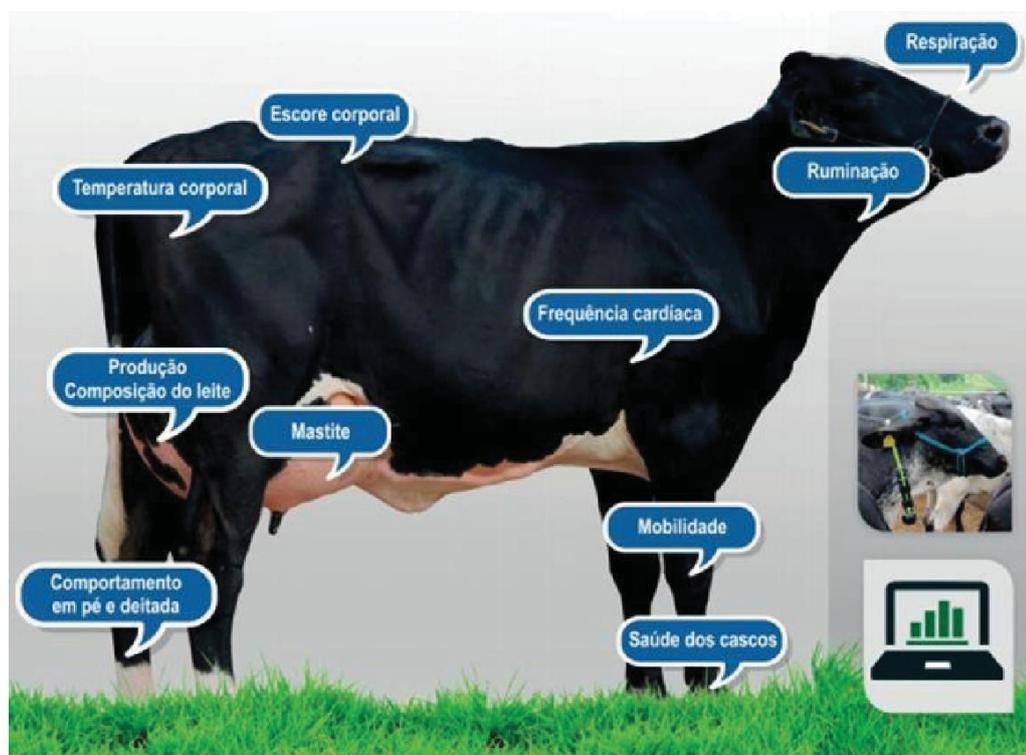
Diversos sensores são utilizados na pecuária como: imagem térmica infravermelha, sensores de câmera, acelerômetros (colares), pedômetros, microfones, reconhecimento facial, entre outros.

O uso dos sensores fornece uma solução mais precisa, detectando elementos químicos, físicos e biológicos. O *big data* tem a função de armazenar os dados coletados pelos sensores, enquanto os algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquinas fornecem uma análise dos dados e notificam em casos anormais no processo produtivo. Esses resultados são enviados ao produtor por meio de softwares via computador ou celular (MILARÉ, 2023).

Os principais parâmetros monitorados são, a contagem de células somáticas, temperatura corporal, ruminação, consumo de água e alimentos, medidores de atividade para detecção do cio, problemas nos cascos e peso corporal (DE LEITE, 2015).

2.1. Colares com Sensores

Figura 3 - Variáveis monitoradas por meio de sensores.



Fonte: Teixeira et al. (2018).

Os colares com sensores surgiram da necessidade de auxiliar a produção animal, a fim de promover maior lucratividade na pecuária leiteira (SANTOS, 2019). Ainda segundo Santos (2019), são dispositivos usados para monitorar o comportamento e saúde do gado leiteiro que geralmente contêm acelerômetros ou outros sensores que emitem sinais codificados no aparelho receptor e fornecem dados do movimento e atividade dos animais, se estão se movendo, descansando ou se alimentado. Qualquer mudança no padrão de atividade pode indicar problemas na saúde do animal.

O acelerômetro é um sensor eletrônico que transforma o movimento em um sinal de tensão em forma de onda. As mordidas, por exemplo, são resultados dos movimentos da cabeça e do maxilar, enquanto a mastigação é composta exclusivamente do movimento do maxilar. A ruminação fornece informações sobre a saúde digestiva, podendo identificar problemas, como a acidose ruminal (KLIEMANN, 2019).

Vacas com mastite, próximas do parto ou com doenças metabólicas, comem e ruminam menos que vacas saudáveis e se deitam mais que em casos normais (MILARE, 2023).

Outro exemplo que pode ser citado é, dados fornecidos pelos sensores em conjunto com o sistema de ordenha, pode demonstrar quantos litros de leite o animal produziu no dia, mês ou ano (SANTOS, 2019).

O colar é capaz ainda de indicar quando os animais estão em cio, possibilitando a inseminação artificial e consequentemente melhorando a eficiência produtiva, aumentando as taxas de concepção. Monitoram a temperatura corporal, ajudando assim na detecção de doenças ou estresse que possam afetar a produção animal, rastreiam padrões do consumo de alimentos, podendo manejar a dieta e ter mais eficácia, garantindo a nutrição adequada e maximizando a produção de leite (KLIEMANN, 2019).

2.1.1. Custos

De acordo com Dos Santos, 2019, o custo de implementação dos colares, pode variar significativamente, dependendo do tipo de sensor utilizado, a quantidade de animais no rebanho, marca e modelo de dispositivos e serviços adicionais da empresa fornecedora, como taxas de aluguel mensal dos colares ou ainda valores para ter acesso às plataformas de software.

Além disso, os fornecedores podem cobrar taxa de instalação e treinamento para os funcionários sobre como usar e interpretar os dados dos dispositivos.

E por fim, deve ser levado em consideração os custos de manutenção dos equipamentos.

2.2. Compost Barn

A adoção do compost barn, ou estábulo compostado, tem sido uma escolha cada vez mais popular entre os produtores de leite que buscam melhorar o bem-estar animal, a eficiência operacional e a sustentabilidade em suas fazendas. Este sistema de manejo de gado leiteiro difere dos estábulos tradicionais em várias maneiras significativas.

O sistema de compost barn teve início em meados dos anos 80 nos EUA, mais especificamente na Virgínia. O sistema foi desenvolvido por produtores e derivou do bedded pack ou sistema de cama sobreposta onde a mesma serve como uma barreira física entre o esterco e a vaca.

De acordo com autores como Heinrichs e Ishler (2016), o compost barn oferece um ambiente mais confortável e limpo para as vacas, contribuindo significativamente para o seu bem-estar e saúde. Heinrichs e Ishler destacam que a cama compostada no sistema permite uma melhor absorção de umidade e calor, criando condições ideais para o descanso das vacas e minimizando problemas como a mastite.

Outros autores, como Nordlund et al. (2012), enfatizam os benefícios econômicos do compost barn. Eles observam que, apesar dos custos iniciais de implementação, o sistema pode resultar em economias a longo prazo devido à redução nos gastos com tratamentos veterinários e melhorias na eficiência reprodutiva e na produção de leite.

Além disso, um estudo conduzido por Hulsen (2018) avaliou a eficiência ambiental do compost barn, destacando a capacidade do sistema de reduzir a emissão de gases como amônia e metano, que são comuns em sistemas de confinamento convencionais. Essas reduções são atribuídas ao manejo eficiente dos dejetos através da compostagem no próprio local.

Apesar dos benefícios, a adoção do compost barn requer planejamento e investimento adequados. Os produtores precisam considerar fatores como o tamanho do rebanho, a disponibilidade de materiais de cama adequados e a gestão eficiente da compostagem para garantir resultados positivos.

Em resumo, o compost barn representa uma evolução positiva na maneira como as fazendas leiteiras gerenciam o bem-estar animal, a sustentabilidade ambiental e a eficiência operacional. À medida que mais produtores reconhecem esses benefícios, é provável que a adoção desse sistema continue a crescer como uma prática padrão na indústria leiteira moderna.

2.3. Ordenha Robotizada

A ordenha robotizada representa uma inovação significativa na pecuária leiteira, utilizando tecnologias automatizadas para realizar o processo de ordenha das vacas. Esta tecnologia permite a ordenha contínua e sob demanda, oferecendo vários benefícios para os produtores e para o bem-estar dos animais.

Apesar do Brasil ser um dos principais produtores de leite de vaca do mundo, com uma produção estimada de 34 bilhões de litros, a implementação desse sistema ainda não é uma realidade para o país, uma vez que a maior parte dessa produção advém de pequenas e médias propriedades que não possuem recursos financeiros para adesão desse sistema. Neste sentido, constata-se a necessidade de um investimento inicial significativo em infraestrutura e equipamentos (Silvi et al., 2018).

Sistemas de ordenha robotizada são projetados para operar 24 horas por dia, 7 dias por semana, sem a necessidade de intervenção humana constante. Isso reduz a necessidade de trabalho manual e melhora a eficiência operacional (Huang et al., 2020). Os robôs são equipados com sensores e câmeras que monitoram a saúde das vacas e a qualidade do leite, ajustando automaticamente o processo de ordenha conforme necessário. A ordenha robotizada melhora o bem-estar dos animais ao permitir uma abordagem mais natural e menos estressante para a ordenha. As vacas podem ser ordenhadas conforme sua própria programação e conforto, o que pode reduzir o estresse associado à ordenha manual e melhorar a qualidade do leite (Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008).

Os sistemas robotizados são equipados com tecnologias para monitorar a qualidade do leite e detectar problemas de saúde, como mastite, em tempo real. Isso permite uma intervenção precoce e a manutenção da qualidade do leite, resultando em benefícios econômicos e sanitários (Vangroenweghe et al., 2019).

A ordenha robotizada coleta grandes volumes de dados sobre o comportamento das vacas, padrões de produção de leite e saúde animal. Esses dados são analisados para otimizar as práticas de manejo e melhorar a produtividade e a eficiência da operação leiteira (Bárcena et al., 2020).

Apesar das vantagens, a implementação de sistemas de ordenha robotizada pode apresentar desafios, como altos custos iniciais e a necessidade de manutenção técnica especializada. A adaptação dos rebanhos a essa tecnologia e a integração

com outras práticas de manejo são aspectos importantes a serem considerados (Glatz et al., 2021).

A ordenha robótica ou “voluntária” é um método que utiliza um sistema mecânico eletrônico automático para ordenhar o leite de vacas, ovelhas ou cabras. O equipamento é programado para identificar a presença do animal; realizar procedimentos de higienização; retirar o leite com segurança; além de contabilizar o nível de leite em cada glândula mamária. Além disso, é possível monitorar a saúde e a dieta e identificar sinais de doença e desconforto do animal (PAIVA, 2021).

Em estudo realizado por Vijayakumar et al. (2017), observou-se um aumento na produção de leite quando os animais eram ordenhados 4 vezes ao dia, e tal prática seria possível com a utilização do sistema robótico. Entretanto, deve-se atentar a taxa de lotação por equipamento. Deming et al. (2013), após estudo, sugeriram que cada unidade em sistema de tráfego livre pode atender até 60 animais por dia, de forma a não comprometer a produtividade e o intervalo entre as ordenhas.

Outro benefício importante é a coleta de dados detalhados sobre cada vaca, como volume de leite produzido, qualidade do leite, padrões de ordenha e até mesmo indicadores de saúde individual. Essas informações são cruciais para o manejo eficiente do rebanho, permitindo aos produtores tomar decisões mais informadas sobre nutrição, reprodução e cuidados veterinários.

Atualmente, Canadá e outros países europeus já utilizam o SOR, somando 40 mil máquinas em operação. Os principais motivos que aumentam a adesão dos produtores ao sistema estão ligados ao caráter social e econômico. Drach et al. (2017) avaliaram fazendas que utilizam esse sistema e registraram aumento de 15,7% na produção de leite.

Apesar das vantagens claras, a adoção da ordenha robotizada também apresenta desafios. O investimento inicial é significativo, e os produtores precisam estar preparados para aprender a operar e manter os sistemas adequadamente. Além disso, a tecnologia precisa ser adaptada às condições específicas de cada fazenda e às necessidades dos animais para maximizar seus benefícios (TRICARICO et al., 2020).

Conforme Paiva (2021), a manutenção e os reparos dos robôs podem ser complexos e exigir conhecimentos técnicos específicos com mão de obra qualificada. Em paralelo, a adaptação do rebanho ao processo de ordenha robótica também pode ser um desafio, exigindo um período de transição e treinamento adequado para as

vacas. Portanto, incentivos governamentais, flexibilização de crédito, investimento no setor e redução no custo de produção desses equipamentos são ações fundamentais para viabilização desse sistema em nosso país nos próximos anos.

2.4. Datasets de Imagens

O uso de datasets de imagens na pecuária leiteira tem se tornado uma prática crescente para otimizar o manejo e a saúde do rebanho. A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina e visão computacional permite a análise eficiente e precisa de diferentes aspectos do comportamento e da saúde dos bovinos, proporcionando benefícios significativos para a produção leiteira.

Um dos principais usos dos datasets de imagens é a detecção de estro em vacas leiteiras. Modelos de aprendizado profundo, como redes neurais convolucionais (CNNs), são treinados usando imagens para identificar sinais de estro, como mudanças no comportamento e características físicas (Wang et al., 2020). A utilização de datasets que contêm imagens de diferentes fases de estro permite que os modelos sejam mais precisos na identificação do momento ideal para a inseminação (Smith et al., 2021).

Datasets de imagens também são empregados para monitorar a saúde e o bem-estar dos bovinos. Técnicas de processamento de imagem são usadas para detectar doenças, parasitas e lesões através de imagens da pele e do comportamento dos animais (Kim et al., 2022). Esses datasets frequentemente incluem imagens de diferentes condições de saúde e ambientes, permitindo a detecção precoce e intervenção rápida para evitar surtos e melhorar o bem-estar dos animais.

A gestão do rebanho e a produção leiteira podem ser otimizadas através da análise de imagens para monitorar a condição corporal e a eficiência alimentar dos bovinos. Datasets que incluem imagens do corpo dos animais, juntamente com dados sobre sua dieta e produção, ajudam a criar modelos preditivos para ajustar a alimentação e maximizar a produção de leite (Jones & Green, 2022).

Para garantir que os modelos treinados sejam robustos e generalizáveis, técnicas de aumento de dados são frequentemente aplicadas aos *datasets* de imagens. Estas técnicas incluem rotação, ajuste de brilho e contraste, e aplicação de filtros para criar uma variedade de condições de imagem e simular diferentes cenários

(Shorten & Khoshgoftaar, 2019). Isso ajuda a melhorar a capacidade dos modelos de lidar com variabilidade real em condições de campo.

O artigo "Design and Expansion of Datasets for Animal Behavior Analysis: Techniques and Considerations" de Tan e Lee (2021) explora a criação e a expansão de conjuntos de dados voltados para a análise de comportamento animal. Os autores destacam a importância de um design robusto de datasets para garantir a qualidade e a representatividade dos dados utilizados em estudos de comportamento. O artigo aborda técnicas específicas para a coleta e a manipulação de imagens e outros dados relacionados ao comportamento dos animais, incluindo métodos de aumento de dados, como rotação, ajuste de brilho, e aplicação de filtros para diversificar os dados disponíveis. Além disso, os autores discutem a necessidade de considerar variáveis como o ambiente e as condições em que os dados são coletados para melhorar a aplicabilidade dos modelos de aprendizado de máquina. O estudo enfatiza a importância de garantir que os conjuntos de dados sejam representativos das condições reais enfrentadas pelos animais, para que os modelos desenvolvidos possam ser eficazes em ambientes práticos.

3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

3.1. Detecção Eletrônica do Estro em Vacas Leiteiras utilizando Inteligência Artificial

3.1.1. Descrição e Objetivo Geral do Projeto

O presente projeto visa desenvolver um sistema eletrônico para detecção de estro em vacas leiteiras utilizando inteligência artificial. A ferramenta EDGE IMPULSE será empregada para criar um modelo capaz de identificar e classificar imagens de diferentes níveis de estro em bovinos. O objetivo geral é aprimorar o monitoramento do rebanho para identificar o momento propício para emprenhar as matrizes, proporcionando aos agricultores uma ferramenta eficaz para reduzir perdas e otimizar a produção

3.2. Conjunto de Dados

O dataset utilizado no projeto foi obtido através do Kaggle: <https://www.kaggle.com/datasets/tonygim/cattle-estrus-detection-patch-images-red-colour>

Este conjunto de dados contém imagens que foram alteradas manualmente para mostrar diferentes níveis de cio em bovinos. Estas modificações incluem o aquecimento e o arranhar das manchas para refletir várias fases de preparação para a reprodução. O conjunto de dados foi expandido utilizando técnicas avançadas de processamento de imagem, como a desfocagem gaussiana e a melhoria da nitidez, para além de métodos básicos como o corte, a inversão, o zoom, o corte e a rotação. Estas técnicas ajudam a garantir que o conjunto de dados é diversificado e robusto, tornando-o ideal para treinar modelos de aprendizagem automática para reconhecer as fases do cio em condições de imagem variadas.

O conjunto contém 600 imagens para treinamento divididas em duas categorias:

- **Prenha:** 295 imagens
- **Não Prenha:** 292 imagens

Este conjunto de dados foi escolhido por sua relevância e representatividade das principais condições observadas nas propriedades de pecuária leiteira.

3.3. Aprendizado de Máquina - Visão Computacional

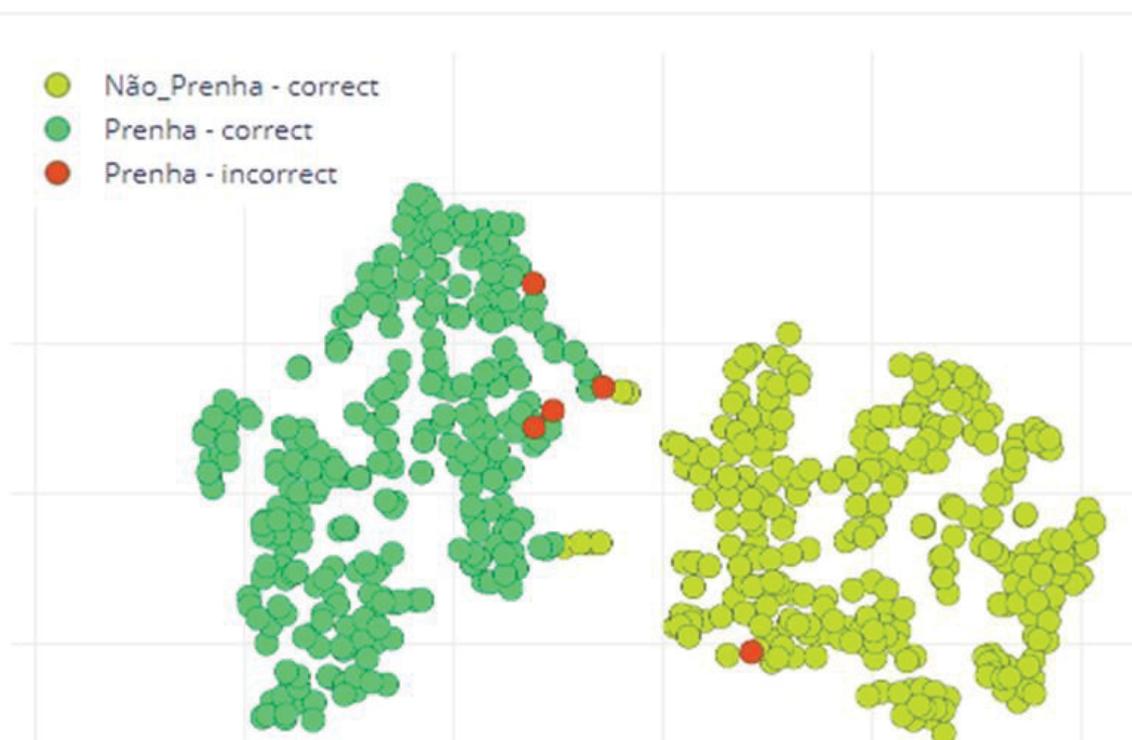
Para o desenvolvimento do modelo, foi utilizada a plataforma EDGE IMPULSE, que permite a criação de modelos de aprendizado de máquina para a solução de problemas de classificação a partir de dados de imagens. As etapas do processo de aprendizado de máquina incluíram:

Pré-processamento das Imagens: Ajuste de dimensões para 48 x 48 de largura e altura, a configuração do parâmetro da imagem foi RGB normalização e aumento de dados para melhorar a robustez do modelo.

Treinamento do Modelo: Utilização de algoritmos de classificação de imagens separando o dataset na proporção de 83%, ou seja 587 amostras de imagens com a

finalidade de treinamento e 17%, ou seja, 120 amostras de imagens com a finalidade de teste, definimos os parâmetros como:

- taxa de aprendizado para 0,0005
- número de ciclos de treinamento de 80
- taxa de descarte de 0,15 e 12 neurônios de saída e arquitetura da rede neural
- dispositivo Raspberry pi 4



FONTE: AUTORES

- **Precisão:** 96%
- **Revocação:** 97%
- **Acurácia Geral:** 96,6%

Metrics (validation set)

METRIC	VALUE
Area under ROC Curve ?	0.96
Weighted average Precision ?	0.97
Weighted average Recall ?	0.97
Weighted average F1 score ?	0.97

FONTE: AUTORES

Confusion matrix (validation set)

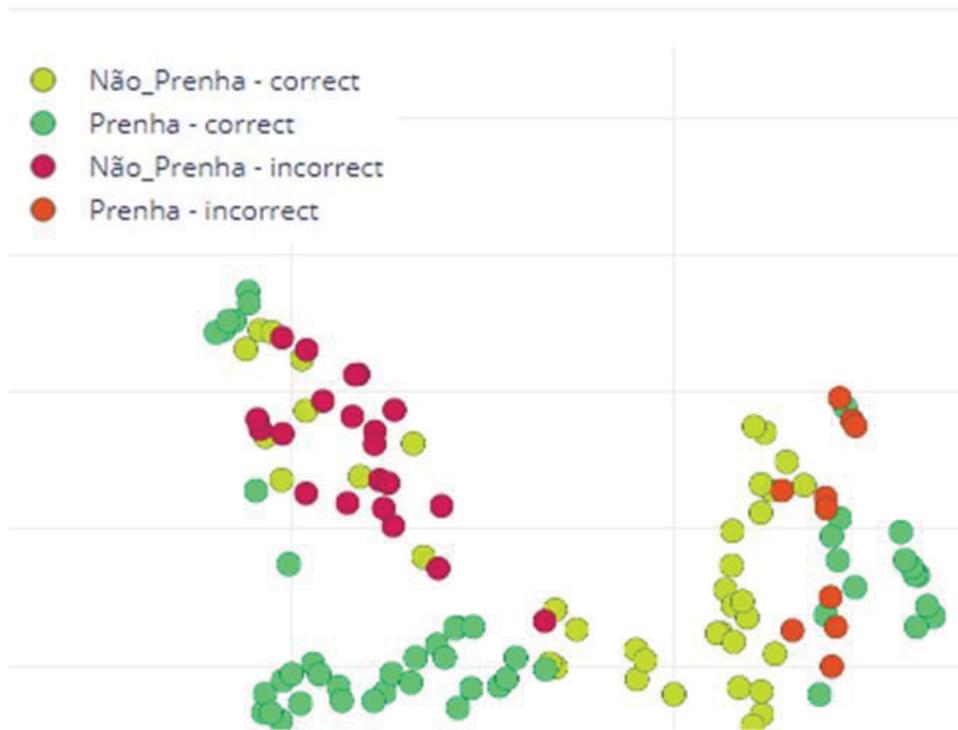
	NÃO_PRENHA	PRENHA
NÃO_PRENHA	100%	0%
PRENHA	7.4%	92.6%
F1 SCORE	0.97	0.96

FONTE: AUTORES

Validação e Teste: Avaliação do modelo com um conjunto de dados separado para validar sua eficácia e ajustar parâmetros conforme necessário.

3.4. Desempenho e Teste

Após o treinamento e ajuste dos parâmetros, o modelo apresentou os seguintes resultados do teste:



FONTE: AUTORES

- **Precisão:** 79%
- **Revocação:** 78%
- **Acurácia Geral:** 74,17%



ACCURACY

74.17%

Metrics for Transfer learning 

METRIC	VALUE
Area under ROC Curve 	0.77
Weighted average Precision 	0.79
Weighted average Recall 	0.78
Weighted average F1 score 	0.77

FONTE: AUTORES

Confusion matrix

	NÃO_PRENHA	PRENHA	UNCERTAIN
NÃO_PRENHA	65%	28.3%	6.7%
PRENHA	8.3%	83.3%	8.3%
F1 SCORE	0.75	0.79	

FONTE: AUTORES

3.5. Resultado e Testes

Após o treinamento e ajuste dos parâmetros, o modelo apresentou resultados promissores no teste. Com uma precisão de 96%, uma revocação de 97% e uma acurácia geral de 96,6%, o sistema demonstrou uma capacidade significativa de identificar e classificar imagens de diferentes níveis de estro em bovinos. Esses resultados indicam a eficácia e a confiabilidade do modelo desenvolvido.

Ao comparar os resultados obtidos neste projeto com estudos anteriores na área de detecção de estro em vacas leiteiras, observa-se que a precisão e a acurácia geral alcançadas são bastante elevadas. Essa alta performance do modelo pode ser atribuída à utilização da plataforma EDGE IMPULSE e às técnicas avançadas de processamento de imagem empregadas no pré-processamento dos dados

3.5.1. Ordenha Robotizada - Proposta de Solução

A proposta de solução será utilizar técnicas preditivas de aprendizagem de máquina prever o retorno de investimentos para se adotar a ordenha robotizada.

O trabalho que serviu de base foi o de Nunes & Guerios (2022) onde os dados foram levantados na fazenda Marrafon, localizada no município de Cascavel, no distrito do Rio do Salto conforme ilustrado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – FAZENDA MARRAFON NAS COORDENADAS 25°09'07" SUL E 53°23'37" OESTE



FONTE: GOOGLE EARTH 2024.

No ano de 2019, o produtor adotava o sistema tradicional de manejo e ordenha, caracterizado pela ordenha por conjunto mecânico e alimentação do concentrado não individualizada, ocorrendo duas ordenhas diárias.

A TABELA 1 mostra os dados de produção média mensal de leite, litros/vaca/dia em 2019, de janeiro a setembro.

TABELA 1 – DADOS DE PRODUÇÃO DE MÉDIA MENSAL DE LEITE, LITRO/VACA/DIA EM 2019 COM ORDENHA MANUAL

Meses	Produção
Janeiro	23,88
Fevereiro	22,57

Março	21,13
Abril	20,96
Maio	20,65
Junho	23,16
Julho	24,90
Agosto	26,67
Setembro	27,21
^Outubro	^31,24
^Novembro	^34,73
^Dezembro	^38,74

Os dados de produção de outubro a dezembro foram estimados pelo modelo de regressão linear proposto no artigo como sendo:

$$\widehat{p}_{2019}(mês) = 0,2637 * (mês)^2 - 2,0478 * (mês) + 25,344 \quad (1)$$

Nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2019, ocorreu a transição do sistema tradicional para o sistema de ordenha e manejo pelo equipamento DeLaval VMS V300 ilustrado na FIGURA 5 com um custo para investimento de R\$ 1.000.000,00.

FIGURA5 – SISTEMA VMS (VOLUNTARY MILKING SYSTEM) V300



FONTE: DELAVAL, 2018

Na TABELA 2, encontram-se os dados de produção média mensal de leite, litros/vaca/dia em 2020, de janeiro a setembro.

TABELA 2 – DADOS DE PRODUÇÃO DE MÉDIA MENSAL DE LEITE, LITRO/VACA/DIA EM 2020 COM ORDENHA ROBOTIZADA

Meses	Produção
Janeiro	25,78
Fevereiro	29,38
Março	Julho Agosto
Abril	Setembro
Maio	
Junho	

3	2
1	32,38
,	
6	35,04
7	36,83
3	
2	36,96
,	
6	
5	
3	
3	
,	
4	

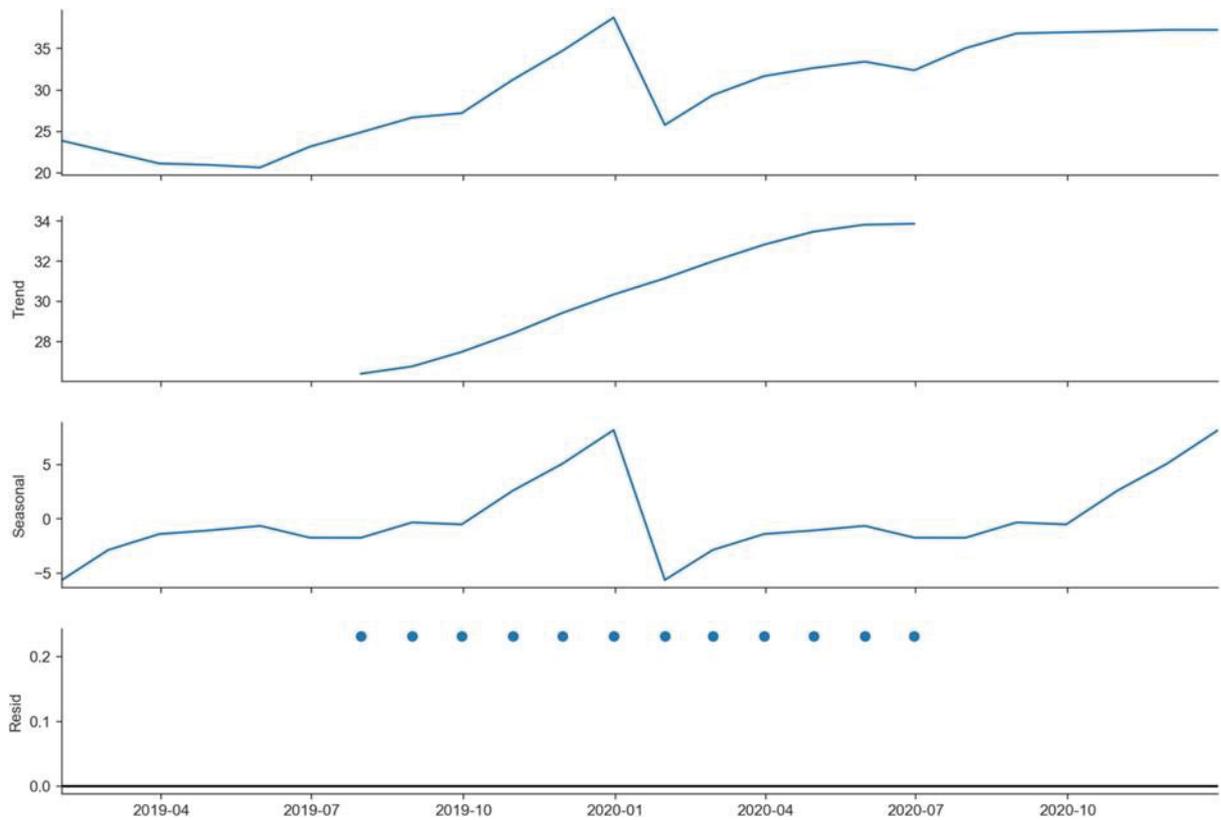
^Outubro	^37,08
^Novembro	^37,26
^Dezembro	^37,26

Os dados de produção de outubro a dezembro de 2020 foram estimados pelo modelo de regressão linear proposto no artigo como sendo:

$$\widehat{p}_{2020}(\text{mês}) = -0,0944 * (\text{mês})^2 + 2,1699 * (\text{mês}) + 24,817 \quad (2)$$

Uma vez obtidos dois ciclos anuais, foi possível a aplicação da técnica de séries temporais SARIMAX para prever o ano de 2021. Para que a aplicação da técnica SARIMAX seja possível, são necessários pelo menos dois ciclos anuais, ou seja, vinte e quatro meses de dados históricos. Dessa forma, é possível identificar a estrutura de correlação dos dados e, assim, modelar adequadamente a série temporal (Chebel & Ribeiro, 2016; Gempesaw et al., 1992). A decomposição da série, ilustrada na FIGURA 6, apresenta os gráficos de tendência, sazonalidade e resíduos, evidenciando a presença de sazonalidade nos dados. O gráfico de tendência mostra um comportamento crescente na produção de leite, evidenciando o aumento da produção, devido a adoção da ordenha robotizada. O gráfico de sazonalidade revela um padrão sazonal ao longo do ano, com picos de produção nos meses de janeiro.

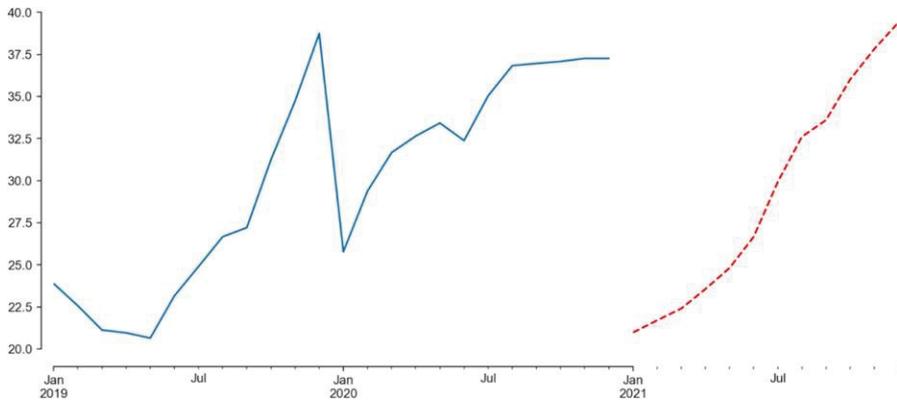
FIGURA6 – DECOMPOSIÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL UTILIZANDO SARIMAX



FONTE: OS AUTORES.

O modelo é obtido através da técnica SARIMAX que pode ser utilizada para previsão de produção de leite em diferentes cenários, em virtude de sua aplicabilidade em dados sazonais. Conforme utilizado no trabalho de (Urrutia et al., 2017), essa técnica possibilita realizar projeções futuras de produção de leite com base em dados históricos e ilustrada na FIGURA 7.

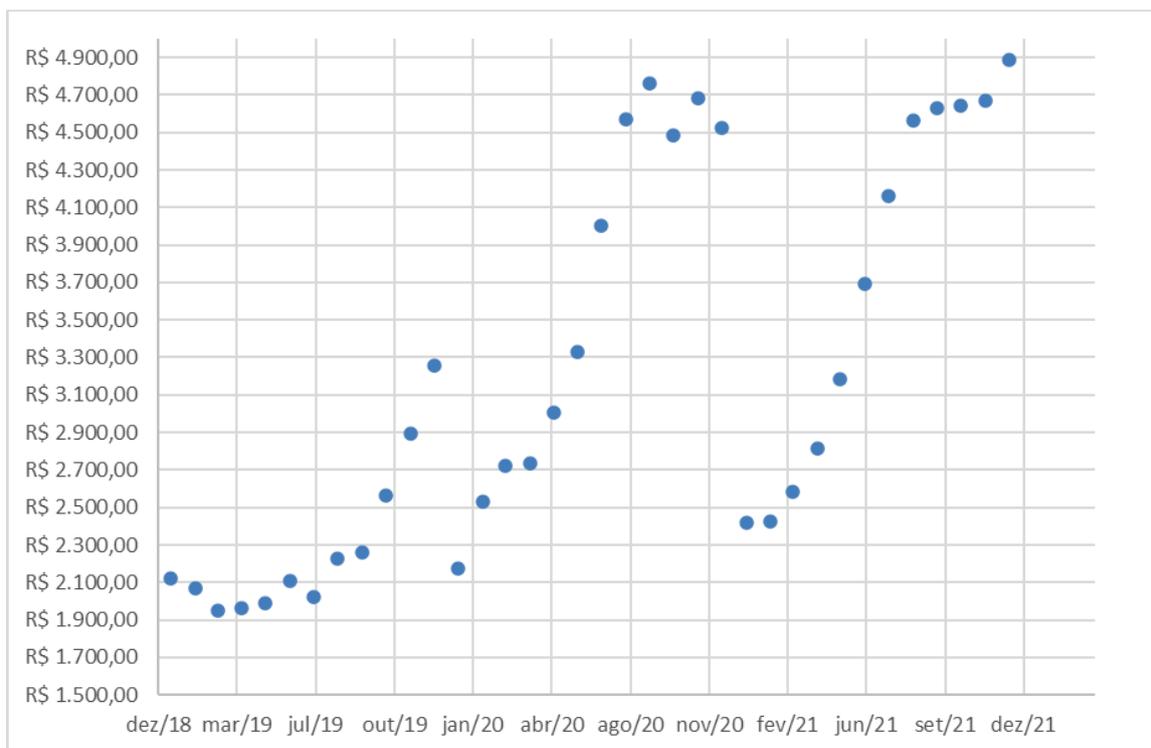
FIGURA7 – PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE 2021 ATRAVÉS DO MODELO SARIMAX.



FONTE: OS AUTORES.

Através dos preços líquidos mensais pagos ao produtor em R\$/litro obtidos após consulta CEPEA/ESALQ (Tecnologia, [s.d.]) foi possível traçar a curva de faturamento para 60 vacas em lactação nesta propriedade na FIGURA 8.

FIGURA 8 – CURVA DE FATURAMENTO PARA O PERÍODO DE 2019 A 2021.



FONTE: OS AUTORES

Para determinar a parcela mensal de financiamento do sistema DeLaval VMS V300 em 2019, foi preciso considerar alguns fatores como a taxa de juros, o prazo do financiamento e o valor total financiado. Serão usados alguns parâmetros comuns para financiamentos de equipamentos agrícolas:

- **Valor total financiado:** 1.000.000 BRL (conforme calculado anteriormente).
- **Prazo do financiamento:** 10 anos (120 meses).
- **Taxa de juros anual:** 12% (aproximadamente 1% ao mês).

Usando a fórmula (3) para cálculo de parcelas fixas de um financiamento para um sistema de amortização constante:

$$PMT = \frac{P \times r \times (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (3)$$

Onde:

PMT = parcela mensal

P = valor principal ou montante financiado (R\$ 1.000.000,00)

r = taxa de juros mensal em 2019 (0,625 % = 0,00625)

n = número de parcelas (120 meses)

Usando a fórmula (3) e usando os parâmetros, obtemos o valor da parcela mensal o valor das parcelas fixas pode ser calculado em (4):

$$PMT = \frac{(R\$ 1.000.000,00) \times (0,00625) \times (1+0,00625)^{120}}{(1+0,00625)^{120} - 1} = R\$11.870,00 \quad (4)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de tecnologia de precisão na pecuária leiteira não apenas moderniza as operações, mas também coloca o Brasil em posição de destaque globalmente, consolidando-se como um líder na inovação do setor agropecuário. Porém, baseado no estudo realizado através da modelagem e das técnicas empregadas de previsão demonstra-se que o investimento na aquisição do sistema automático de ordenha torna-se inviável para propriedades com 60 vacas em lactação, no patamar de produção.

A solução proposta proporciona uma maneira do produtor tecer cenários possíveis através dos parâmetros para a tomada de decisão na robotização de sua ordenha. Os resultados obtidos na fazenda Marrafon com a adoção do sistema de ordenha robotizada foram significativos. A transição do sistema tradicional para o sistema de ordenha e manejo pelo equipamento DeLaval VMS V300 resultou em melhorias notáveis na produção de leite. Os dados de produção média mensal de leite, litros/vaca/dia, evidenciaram um aumento consistente ao longo do tempo, porém não se mostrando viável economicamente.

No período de 2019 a 2021, observou-se um crescimento na produção de leite, conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2 do documento. Em 2019, a produção média mensal de leite com ordenha manual apresentou valores iniciais menores, por volta de 20-25 litros/vaca/dia, enquanto em 2020, com a ordenha robotizada, os valores aumentaram para cerca de 30-37 litros/vaca/dia. A aplicação da técnica de séries temporais SARIMAX permitiu prever a produção de leite para o ano de 2021 com base nos dados históricos. A decomposição da série temporal revelou um padrão sazonal na produção de leite, com picos nos meses de janeiro. Isso evidencia a importância de considerar a sazonalidade na modelagem e previsão da produção leiteira.

Além disso, a análise da curva de faturamento para o período de 2019 a 2021 mostrou o impacto positivo do aumento na produção de leite na receita da propriedade. A utilização de técnicas preditivas de aprendizagem de máquina, como o modelo SARIMAX, possibilitou realizar projeções futuras da produção de leite com base nos dados históricos, auxiliando na tomada de decisões estratégicas.

Em suma, os resultados obtidos na fazenda Marrafon demonstram que a adoção da ordenha robotizada teve um impacto positivo na produção de leite, mas

não no retorno financeiro da propriedade. A análise detalhada dos dados e a aplicação de técnicas avançadas de previsão contribuíram para uma gestão mais eficiente e sustentável da atividade leiteira.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção crescente de tecnologias inovadoras na produção de leite não apenas transforma a maneira como as fazendas operam, mas também tem implicações significativas na avaliação financeira das operações leiteiras. Essas tecnologias abrangem desde sistemas automatizados de ordenha até monitoramento de saúde e bem-estar das vacas, e cada uma delas pode ter um impacto diferente nos custos e na rentabilidade da fazenda.

Redução de custos operacionais: Sistemas como a ordenha robotizada reduzem a dependência de mão de obra humana, minimizando custos com pessoal e potencialmente permitindo uma operação 24/7 sem supervisão constante.

Tecnologias que monitoram a saúde das vacas, como sensores de temperatura, detecção de cio automatizada e sistemas de alimentação controlados por computador, ajudam a identificar problemas de saúde precocemente, reduzindo custos com tratamentos veterinários e perda de produção.

Aumento da eficiência produtiva: Tecnologias que permitem um manejo mais preciso e individualizado das vacas, como alimentação controlada e monitoramento de parâmetros de produção, podem aumentar a produção de leite por vaca.

Controle mais rigoroso sobre alimentação, água e saúde pode reduzir desperdícios e maximizar a eficiência dos recursos utilizados na fazenda.

Benefícios para o bem-estar animal: Ambientes mais controlados e monitorados tendem a melhorar o bem-estar das vacas, o que pode resultar em maior longevidade produtiva e menos problemas de saúde.

Desafios e custos de adoção: Muitas dessas tecnologias exigem um investimento significativo em equipamentos e infraestrutura, o que pode ser um obstáculo inicial para os produtores. Além do investimento inicial, há custos contínuos com manutenção, atualizações de software e treinamento de pessoal para operar eficazmente essas tecnologias.

Avaliação financeira geral: A avaliação financeira da adoção de tecnologias na produção de leite deve levar em consideração não apenas os custos diretos e benefícios esperados, mas também fatores como o retorno sobre o investimento (ROI) a longo prazo, impactos na produtividade e na saúde do rebanho, e o potencial de aumentar a competitividade no mercado. Muitas vezes, os benefícios tangíveis e intangíveis (como bem-estar animal melhorado e sustentabilidade) podem compensar os custos adicionais associados à adoção dessas tecnologias.

Em última análise, a decisão de adotar tecnologias inovadoras na produção de leite deve ser baseada em uma análise cuidadosa e personalizada das necessidades da fazenda, das condições do mercado e das expectativas de retorno financeiro e operacional. À medida que essas tecnologias continuam a evoluir e se tornar mais acessíveis, é provável que mais produtores considerem seus benefícios como um investimento estratégico para o futuro de suas operações leiteiras.

5.1. SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO

Durante a análise e discussão dos resultados surgiram alguns questionamentos que não puderam ser confirmados neste trabalho, mas que serviram para apontar sugestões para a continuidade dos estudos.

Considerando os resultados e as conclusões obtidas neste estudo sobre a adoção da ordenha robotizada na fazenda Marrafon, algumas sugestões de trabalhos futuros podem ser consideradas para aprofundar o conhecimento e explorar novas oportunidades na área da produção leiteira:

1. **Estudo de viabilidade econômica:** Realizar uma análise mais detalhada dos custos e benefícios da adoção da ordenha robotizada, considerando não apenas a produção de leite, mas também outros aspectos econômicos da atividade, como custos operacionais, investimentos em tecnologia e retorno financeiro a longo prazo.
2. **Avaliação do bem-estar animal:** Investigar o impacto da ordenha robotizada no bem-estar das vacas leiteiras, considerando aspectos como conforto, saúde e comportamento dos animais. Avaliar se a tecnologia contribui para melhorar as condições de vida dos animais e promover práticas mais sustentáveis na pecuária leiteira.

3. Análise de sustentabilidade ambiental: Avaliar o impacto ambiental da adoção da ordenha robotizada, considerando aspectos como redução do consumo de recursos naturais, emissão de gases de efeito estufa e gestão de resíduos. Investigar como a tecnologia pode contribuir para práticas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis na produção de leite.
4. Estudo de mercado e tendências: Realizar uma análise de mercado para identificar tendências, demandas e oportunidades no setor de laticínios, considerando o cenário nacional e internacional. Investigar como a adoção de tecnologias como a ordenha robotizada pode impactar a competitividade e a inserção dos produtores no mercado global.
5. Desenvolvimento de novos modelos preditivos: Explorar o uso de outras técnicas de análise de dados e modelagem preditiva para prever a produção de leite e otimizar a gestão da atividade leiteira. Investigar a aplicação de inteligência artificial, machine learning e outras ferramentas avançadas para aprimorar as previsões e tomadas de decisão na pecuária leiteira.

Essas sugestões de trabalhos futuros visam ampliar o conhecimento e aprofundar a análise sobre a adoção da ordenha robotizada na produção leiteira, explorando novas perspectivas e possibilidades de pesquisa que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável e inovador do setor agropecuário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, R.S.; SITTÓN-CANDANEDO, I.; GARCÍA, Ó.; PRIETO, J. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. *Ad Hoc Networks*, v. 98, p. 102047, 2020.

BÁRCENA, C.; SÁNCHEZ, A. Data-driven decision making in dairy farming: Insights from robotic milking systems. *Agricultural Systems*, v. 179, p. 102754, 2020. doi:10.1016/j.agsy.2019.102754.

DA SILVA, L. F. F. et al. Pecuária leiteira de precisão. 2021. Bacharelado em Zootecnia. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, 2021.

DE LEITE, E. G.; DE BIOEFICIÊNCIA, C. M. Pecuária leiteira de precisão: conceitos e tecnologias disponíveis. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n. 79, 2015.

GLATZ, P.; STAUFENBIEL, R. Challenges and opportunities in the implementation of robotic milking systems. *Livestock Science*, v. 242, p. 104313, 2021. doi:10.1016/j.livsci.2021.104313.

HEINRICHS, AJ; ISHLER, VA. Eficiência alimentar em vacas lactantes e relação entre renda e custos de alimentação.

<https://extension.psu.edu/feed-efficiency-in-lactating-cows-and-relationship-to-income-over-feed-costs>(2016) , acessado em 01 de Julho de 2024.

HUANG, Y.; XIE, S.; WANG, S. Automation and precision: Advances in robotic milking systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 178, p. 105785, 2020. doi:10.1016/j.compag.2020.105785.

KLIEMANN, R. D. Validação de sensor no estudo de parâmetros comportamentais de novilhas leiteiras em condições de confinamento. Universidade Federal do Paraná, 2019.

MILARE, P. P. O. Agricultura digital: principais impactos e obstáculos no mercado da pecuária leiteira no Brasil. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Faculdade de Economia, Administração, Contábeis e Atuariais da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2023.

PAIVA, C.A.V.; TOMICH, T.R.; CAMPOS, M.M.; MACHADO, FS.; PEREIRA, L.G.R. Pecuária de Precisão no Brasil. Leite Integral, edição 85, 2016. Disponível em: <https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/pecuaria-de-precisao-no-brasil>. Acesso em: 29/06/2024.

SANTOS, F. A. Estudo da automação na pecuária leiteira na cidade de Arapoti. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.; PETTERSSON, G. Milking management and milk quality in robotic milking systems. *Journal of Dairy Science*, v. 91, n. 1, p. 239-249, 2008. doi:10.3168/jds.S0022-0302(08)72656-8.

TAN, C.; LEE, S. Design and expansion of datasets for animal behavior analysis: Techniques and considerations. *Animals*, v. 11, n. 8, p. 2194, 2021. doi:10.3390/ani11082194.

TEIXEIRA, V. A. et al. Pecuária leiteira de precisão: uso de sensores para monitoramento e detecção precoce de alterações na saúde de bovinos leiteiros. Embrapa Gado de Leite, 2018.

VANGROENWEGHE, F.; DE VRIES, A. Real-time monitoring and management of dairy cattle health using robotic systems. *Animal Health Research Reviews*, v. 20, n. 1, p. 1-14, 2019. doi:10.1017/S1466252319000050.

VILELA, D. et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. *Revista de Política Agrícola*, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017.

VIJAYAKUMAR, M. et al. The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 30, n. 8, p. 1093, 2017.

VAN VLECK, R. Early Cow Milking Machines, 1996. Disponível em: <URL>. Acesso em: 21 set. 2017.

ROCHA, D.T.; CARVALHO, G.R.; RESENDE, J.C. Cadeia produtiva do leite do Brasil: produção primária. Circular Técnica 123, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2020.

SILVA, S. R.; SILVESTRE, A. M.; MONTEIRO, D. O.; ALMEIDA, J. C. Bem-estar em vacas ordenhadas por sistemas robotizados: Evidências científicas. In: JORNADAS DE BOVINICULTURA, 3., 2007, Vila Real. Anais... Vila Real: UTAD, 2007. p. 35-51.

SILVI, R. R. et al. Pecuária leiteira de precisão: sistemas de ordenhas robotizadas. 2018.

TRICARICO, J. M.; KEBREAB, E.; WATTIAUX, M. A. MILK Symposium review: Sustainability of dairy production and consumption in low-income countries with emphasis on productivity and environmental impact. *Journal of Dairy Science*, v. 103, n. 11, p. 9791–9802, 2020.