

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE COMPORTAMENTO EM
BEZERROS LEITEIROS**

JÚLIA FERNANDES AIRES

Zootecnista/UFSM
Mestra em Zootecnia - UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos para a obtenção do grau de Doutora em
Zootecnia
Área de Concentração em Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2024.

Júlia Fernandes Aires

**USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE COMPORTAMENTO EM
BEZERROS LEITEIROS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Zootecnia.**

Área de concentração: Produção Animal

Orientadora: Profa. Dra. Vivian Fischer

Coorientador: Dr. João Henrique Cardoso
Costa

Porto Alegre, RS
2024

CIP - Catalogação na Publicação

Aires, Julia Fernandes
USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE COMPORTAMENTO
EM BEZERROS LEITEIROS / Julia Fernandes Aires. --
2024.

90 f.

Orientadora: Vivian Fischer.

Coorientador: João Henrique Cardoso Costa.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. acelerômetro. 2. atividade. 3. inteligência
artificial. 4. inatividade. 5. detecção de doenças □.
I. Fischer, Vivian, orient. II. Costa, João Henrique
Cardoso, coorient. III. Título.

Júlia Fernandes Aires
Mestre em Produção Animal

TESE


Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTORA EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 03.06.2024
Pela Banca Examinadora


Homologado em: 07/08/2024
Por

Documento assinado digitalmente
 **VIVIAN FISCHER**
Data: 18/07/2024 09:50:37-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Vivian Fischer
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientadora

Ines Andretta Assinado de forma digital por Ines Andretta
Dados: 2024.08.08 09:05:46 -03'00'


INES ANDRETTA
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE THALER NETO**
Data: 18/07/2024 06:33:12-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

André Thaler Neto
UDESC

Documento assinado digitalmente
 **CARLA MARIS MACHADO BITTAR**
Data: 14/07/2024 21:18:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Carla Maris Machado Bittar
USP/ESALQ

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO DA SILVA CECIM**
Data: 18/07/2024 21:27:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Marcelo da Silva Cecim
UFSM

Documento assinado digitalmente
 **PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA**
Data: 08/08/2024 14:03:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
Vice-diretor da Faculdade de
Agronomia

“Eu costumava achar que eu era a pessoa mais estranha do mundo, mas aí eu pensei tem que ter alguém como eu, que se sinta bizarra e imperfeita, da mesma maneira como eu me sinto.” (Frida Kahlo)

AGRADECIMENTOS

Minha jornada até esta defesa de doutorado foi muito desafiadora, mudanças e descobertas que se estendem ao longo de 12 anos. Voltando no tempo, sair do interior do estado do Rio Grande do Sul, especificamente de São Sepé, com nada além de um colchão de solteiro e um sonho. A aprovação em uma universidade federal marcou o início dessa jornada, e hoje estou aqui, à beira de defender minha tese de doutorado. Confesso que neste momento, eu me emociono em lembrar de todos esses anos.

Chegar até aqui não foi uma tarefa fácil. Ao longo do caminho, enfrentei inúmeros obstáculos e desafios, muitas vezes sem os recursos necessários para superá-los. Mas o sonho de me tornar alguém melhor para mim mesma e para aqueles ao meu redor foi meu combustível. Como disse nos agradecimentos do mestrado, se existe alguma divindade eu sou eternamente grata, por não deixar eu desistir, nem naqueles momentos que eu joguei tudo para o ar e pensei que seria o fim, enfim, eu estou realizando meu maior sonho. Meu muito obrigada!

Não poderia de deixar de agradecer minha família, pai, mãe e meus irmãos. Muito obrigada!

Agradecer ao meu parceiro de vida, Alexandre, obrigada por estar comigo em todos os momentos, principalmente os mais assustadores que vivemos nesses últimos dois anos. Eu te amo muito.

Agradecer aos meus amigos, vocês são incríveis, Mariana, Fernanda, Ale, Mateus, obrigada por estarem sempre comigo.

Não poderia deixar de dedicar um espaço a equipe do Professor João Costa, meu coorientador, obrigada por vocês acreditarem em mim, quando nem eu estava acreditando mais. Tadeu, Lovatti e professor João, vocês foram essenciais para tudo isso acontecer. Eternamente grata por tudo.

Minha querida orientadora Professora Vivian, eternamente agradecida, por confiar em mim e por me dar a oportunidade de aprender com a senhora, com certeza umas das mulheres mais fortes que eu conheci. Muito obrigada!

Não poderia deixar de agradecer ao Professor Ruan Daros e ao Tatu (Luis Fernando), que foram tão importantes para a primeira fase deste trabalho sair do papel. Muito obrigada!

Meus colegas do Nuplac, principalmente aos meus eternos parceiros Arthur, Lisi e Gui, obrigada pelo apoio.

Agradecer também a equipe da Cowmed, a UFRGS, ao PPGZ e a CAPES, aos recursos concedidos e pela oportunidade. Muito obrigada a Todos!

USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO NO COMPORTAMENTO DE BEZERROS LEITEIROS

Autora: Julia Fernandes Aires
Orientadora: Dra. Vivian Fischer

Resumo:

A criação de bezerras é uma fase crucial na pecuária leiteira, exigindo atenção desde o nascimento até o desaleitamento. No entanto, esta fase é muitas vezes negligenciada porque não gera retornos econômicos imediatos. Neste contexto, o monitoramento do comportamento animal desempenha um papel fundamental na avaliação de comportamentos que refletem o estado de bem-estar e saúde animal e pode ser uma ferramenta para essas avaliações de forma contínua e precisa em tempo real. Com isso o objetivo do presente estudo é validar o uso do monitoramento comportamental em bezerras com idade de 20 a 90 dias de vida e avaliar o desempenho do sistema em identificar sinais precoces de doenças em bezerras leiteiras. No primeiro estudo, objetivou-se validar a precisão e acurácia de uma coleira de monitoramento do comportamento animal (BMC; CowMed-Bezerra, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), em bezerras leiteiras em fase de aleitamento e pré-desaleitamento. Foram selecionados aleatoriamente 23 bezerras holandesas criadas em fazenda comercial, divididas em três grupos, com idade entre 20 e 90 dias e peso entre 45 e 110 kg. As bezerras tiveram seus comportamentos gerais de atividade e ócio registrados de duas formas: BMC e observação visual. O comportamento visual foi observado por três observadores treinados e os comportamentos foram observados em intervalos de 1 minuto. O BMC foi colocado nas bezerras sete dias antes do início da avaliação, para adaptação dos animais. Cada bezerra foi observada 360 minutos por dia (das 10h às 13h e das 19h às 22h) durante quatro dias, totalizando 1.440 minutos. Os tempos de ruminação, alimentação e atividades foram somados e considerados como atividade geral. Os tempos registrados pelo BMC de atividade geral e inatividade foram comparados com a observação visual do comportamento das bezerras usando a correlação de Pearson (r); os coeficientes de determinação (r^2) e de correlação de concordância de Lin (ρ_c) foram usados para avaliar a precisão, enquanto a regressão linear e gráficos de Bland-Altman foram usados para avaliar a acurácia. Para validação da precisão, encontramos correlações altas para atividade geral e inatividade. Os gráficos de Bland-Altman não mostraram viés. As diferenças médias \pm desvio padrão de Bland-Altman (BMC - observação visual) foram $-6,68 \pm 2,72$ min/h para atividade geral e $-3,86 \pm 2,72$ min/h para ócio. As diferenças médias, no entanto, incluíram zero dentro do intervalo de concordância de 95%, indicando que não houve diferença significativa entre o BMC e a observação visual. A inclinação da regressão linear diferiu de 1 para todos os comportamentos, indicando que o BMC subestima os comportamentos observados. Este estudo valida a mensuração dos comportamentos de atividade geral e de ócio usando o BMC em bezerras leiteiras. No segundo estudo, o objetivo foi avaliar o desempenho de um sistema comercial de monitoramento do comportamento na detecção precoce de doenças em bezerras leiteiras. O experimento foi conduzido em uma fazenda comercial, com elevada incidência para tristeza parasitária bovina (anaplasmose e babesiose), em São Paulo, Brasil, entre setembro e dezembro de 2023. Foram selecionadas 100 bezerras holandesas com idades

entre 70 e 170 dias. As bezerras foram equipadas com colares de monitoramento BMC (Colar/Bezerra-CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), sete dias antes do início do estudo, para fins de adaptação. Os dados de atividade foram coletados e processados utilizando o software CowMed. Ao longo do estudo, foram registrados 88 alertas, dos quais 56 corresponderam a animais diagnosticados para tristeza parasitária bovina e um caso de pneumonia (verdadeiros positivos), enquanto 13 foram considerados falsos positivos (sem diagnóstico de doenças). A análise estatística revelou uma sensibilidade de 90% e uma especificidade de 65% para detecção precoce de doenças usando o BMC. A acurácia do sistema foi calculada em 81%. Os resultados indicam que o BMC apresenta uma capacidade robusta de identificar corretamente os casos positivos de doença, com uma alta sensibilidade. No entanto, sua especificidade foi comprometida, gerando um número elevado de alertas falsos positivos. Apesar disso, o sistema demonstrou ser uma ferramenta promissora para detecção precoce de doença, e no gerenciamento diário das fazendas, contribuindo para o bem-estar animal e a eficiência do manejo da saúde do rebanho.

Palavras-chave: acelerômetro, atividade, inteligência artificial, inatividade, detecção de doenças

USE OF MONITORING SYSTEMS IN THE BEHAVIOR OF DAIRY CALVES

Author: Julia Fernandes Aires

Adviser: Dr. Vivian Fischer

Abstract:

Calf rearing is a crucial phase in dairy farming, requiring attention from birth to weaning. However, this phase is often neglected because it does not generate immediate economic returns. In this context, monitoring animal behavior plays a fundamental role in the assessment of behaviors that reflect the state of animal welfare and health and can be a tool for these assessments in a continuous and accurate way in real time. Therefore, the objective of the present study is to validate the use of behavioral monitoring in calves aged 20 to 90 days of age and evaluate the system's performance in identifying early signs of disease in calves. In the first study, the objective was to validate the precision and accuracy of an animal behavior monitoring collar (BMC; CowMed-Bezerra, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), in Holstein calves in the suckling and pre-weaning phases. 23 Holstein calves raised on a commercial farm were randomly selected, divided into three groups, aged between 20 and 90 days and weighing between 45 and 110 kg. The calves had their general activity and idleness behaviors recorded in two ways: BMC and visual observation. Visual behavior was observed by three trained observers and behaviors were observed at 1-min intervals. The BMC was placed on the calves seven days before the start of the evaluation, to adapt the animals. Each calf was observed 360 minutes a day (from 10 am to 1 pm and from 7 pm to 10 pm) for four days, totaling 1440 minutes. Rumination, feeding and activity times were added together and considered as general activity. The times of general activity and inactivity recorded by the BMC were compared with visual observation of the calves' behavior using Pearson's correlation (r), coefficient of determination (r^2) and Lin's concordance correlation coefficient (ρ_c) both to evaluate Precision, while linear regression and Bland-Altman plots were used to assess accuracy. To validate precision, we found high correlations for overall activity and inactivity. Bland-Altman plots showed no bias. The mean differences \pm Bland-Altman standard deviation (BMC - visual observation) were -6.68 ± 2.72 min/h for general activity and -3.86 ± 2.72 min/h for idleness. Mean differences, however, included zero within the 95% agreement interval, indicating that there was no difference between BMC and visual observation. The slope of the linear regression between BMC and visual recordings differed from 1 for all behaviors, indicating that BMC underestimate general activity and idleness. This study validates the high accuracy of general activity and idleness behaviors measured by a BMC in dairy calves. In the second study, the objective was to evaluate the performance of a commercial monitoring system in the early detection of diseases in dairy calves. The experiment was conducted on a commercial farm, with a high incidence of anaplasmosis, in São Paulo, Brazil, between September and December 2023. 100 Holstein calves aged between 70 and 170 days were selected. The calves were equipped with BMC monitoring collars (Collar/Bezerra-CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), seven days before the start of the study, for adaptation purposes. Activity data was collected and processed using CowMed software. Throughout the study, 88

alerts were recorded, of which 56 corresponded to animals diagnosed with bovine parasitic sadness and one case of pneumonia (true positives), while 13 were considered false positives (no disease diagnosis). Statistical analysis revealed a sensitivity of 90% and a specificity of 65% for the monitoring system. The system's accuracy was 81%. The results indicate that the BMC has a robust ability to correctly identify positive cases of disease, with a high sensitivity. However, its specificity was compromised, generating a high number of false positive alerts. Despite this, the system proved to be a promising tool for early detection of disease, and in the daily management of farms, contributing to animal welfare and the efficiency of herd health management.

Key-words: accelerometer, activity, artificial intelligence, idle, disease detection

APRESENTAÇÃO

Esta tese foi organizada com uma introdução geral, três capítulos e uma seção de considerações finais.

O primeiro capítulo consiste em uma revisão bibliográfica que aborda os comportamentos observados em animais jovens, a pecuária de precisão e a aplicação de sistemas de monitoramento nesse contexto. O objetivo principal deste capítulo é fornecer ao leitor uma base compreensiva para os temas explorados nos capítulos subsequentes.

O segundo capítulo apresenta um estudo de validação de sensores de atividade e ócio nos comportamentos de bezerras.

Já o terceiro capítulo discute um estudo sobre o desempenho de sensores de atividade e repouso na detecção de problemas de saúde em bezerras leiteiras.

Os capítulos 2 e 3 são apresentados em formato de artigos científicos, seguindo as normas da revista *Journal of Dairy Science Communications* e *Journal of Veterinary Behavior*, respectivamente.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	18
1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Comportamento de bezerros leiteiros	22
2.1.1 Comportamento alimentar	22
2.1.2 Comportamento de repouso	26
2.1.4 Comportamentos na doença.....	28
2.2 Adoção de tecnologias na pecuária leiteira.....	29
2.2.1 Pecuária leiteira de precisão.....	29
2.2.2 Tipos de sensores	30
2.2.3 Determinantes do uso de sensores na pecuária	31
2.2.4 Sensores para monitoramento de bezerros.....	33
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	35
CAPÍTULO II.....	36
CAPÍTULO III	58
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS	79
VITA	90

Lista de Tabelas

		Página
Capítulo II		
Tabela 1	Behavior classification ethogram for visual observations taken every minute.	51
Tabela 2	Mean (\pm standard-deviation; SD), minimum and maximum time of general activity and idleness as recorded by visual observations and by the behavior monitoring collar (BMC) in dairy calves.	51
Capítulo III		
Tabela 1	Média (\pm desvio-padrão; DP), tempo mínimo e máximo de atividade geral e ociosidade nas categorizações do monitoramento comportamental (BMC) em bezerros leiteiros.	70
Tabela 2	Matriz de confusão que avalia o modelo de predição de problemas de saúde em bezerras leiteiras (n=100).	71

Lista de Figuras

		Página
Capítulo II		
Figura 1	Correlation map between visually observed behaviors and behaviors measured by the behavioral monitoring collar (BMC) in calves. Colors range from blue (-1) to green (1), indicating the strength and direction of the correlation. Behaviors included are visual inactivity, visual rumination, visual licking or sucking, visual play, visual feeding activity, BMC rumination, BMC feeding activity, and BMC inactivity.	52
Figura 2	Comparison of calf behaviors over time, observed visually and measured by the behavioral monitoring collar (BMC). The graphs show (a) comparison of different behaviors observed visually, (b) comparison of behaviors observed visually and measured by BMC, (c) rumination observed visually versus rumination measured by BMC, and (d) inactivity observed visually versus inactivity measured by BMC. Measurements are presented in minutes over the weeks of age of the calves.	53
Figura 3	Simple linear regression of general activity (a) and idle (b), comparing the behavior BMC (x-axis) with visual observations (y-axis). The data points represent the total minutes that each calve spent performing the corresponding behavior during the 1440-minute observation.	53
Figura 4	Bland-Altman graph illustrating the agreement between the BMC and visual observations for general activity (a) and idle (b). For all charts: <i>the x-axis</i> is the average of the BMC and visual observation; and the <i>y-axis</i> is the difference between the recorded behavior of the BMC and the visual observation. Each data point in the chart is the result of each calf's agreement for the corresponding behavior. The solid line indicates the mean difference between the measures and the	54

	dotted lines represent the standard deviation from the mean difference.	
Capítulo III		
Figura 1	Acurácia, precisão, sensibilidade e especificidade do desempenho de um sistema de monitoramento comercial (CowMed) na detecção de doença com base no tempo de atividade geral e ócio, coletados de um colar de monitoramento (BMC).	71
Figura 2	Acompanhamento das variações comportamentais de atividade geral (figura1a) e ócio (figura1b) individualmente para cada bezerra ao longo dos dias, comparando os animais com e sem alerta e diagnóstico com doença, com febre e sem doença.	72
Figura 3	Boxplot do tempo de atividade geral e ócio medido pelas coleiras para bezerras CowMed (CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A). Tempo saudável (azul) sem doença, tempo em vermelho animais com doença, Animais com febre (verde). Cada caixa indica quartis de distribuição (Q1, mediana e Q3); bigodes indicam mínimo ($Q1 - 1,5 \times$ intervalo interquartil) e máximo ($Q3 + 1,5 \times$ intervalo interquartil) de distribuição de dados.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

?: Porcentagem

BMC: Colar/Bezerra CowMed

BR: Brasil

BRD: Bovine Respiratory Disease

CI: Confidence Interval

dplyr: Pacote R para Manipulação de Dados

FDN: Fibra Detergente Neutra

FN: Falsos Negativos

FP: Falsos Positivos

GMT: Greenwich Mean Time

ggplot2: Pacote R para Visualização de Dados

IRR: Interrater Reliability

L/dia: Litros dias

LOA: Limits of Agreement

MS: Matéria Seca

PC: Peso corporal

PDT: Precision Dairy Technologies

PB: Proteína Bruta

SD: Standard Deviation

TMR: Total Mixed Ration

VN: Verdadeiros Negativos

VP: Verdadeiros Positivos

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A fase inicial da criação de bezerras desempenha um papel crucial na pecuária leiteira, exigindo cuidados desde o período pré-natal até o desaleitamento. Infelizmente, a criação de fêmeas jovens muitas vezes é subestimada pelos pecuaristas devido à ausência de retorno econômico imediato. No entanto, é fundamental compreender que a saúde e o desenvolvimento adequado das bezerras desempenham um papel integral na lucratividade global da cadeia leiteira.

Estes animais estão destinados a se tornarem as futuras vacas do rebanho, e qualquer negligência nesta fase pode resultar em altas taxas de morbidade e mortalidade, impactando negativamente a produtividade do rebanho. Investir de maneira adequada e atenciosa na criação de bezerras é essencial para garantir o sucesso sustentável da atividade leiteira.

Fatores associados ao baixo desempenho ou ao aumento da morbidade e mortalidade das bezerras recém-nascidas estão ligados à maneira como suas mães são cuidadas durante o período de secagem, que compreende os 60 dias antes do parto. O escore de condição corporal insuficiente, estresse térmico causado pelo calor, o manejo alimentar inadequado e as complicações no parto são causas que não apenas comprometem o crescimento fetal, mas também prejudicam a função imunológica da prole desde o nascimento até o desaleitamento (Tao et al., 2012; Barrier et al., 2012).

Outras deficiências que merecem menção e que contribuem para o baixo desempenho na prole incluem o manejo inadequado da colostragem, o que pode resultar no aumento da incidência de doenças e mortalidade (Trotz-Williams et al., 2007), redução do consumo de ração (Brouce et al., 2009), diminuição do peso ao nascer (Wolfenson et al., 1988), desaceleração no ganho de peso (Hill et al., 2011) e aumento da idade das novilhas no primeiro parto (Heinrichs et al., 2005). Esses fatores, quando presentes, podem comprometer significativamente o desenvolvimento saudável e a produtividade futura do gado leiteiro, prejudicando o seu bem-estar e saúde.

A avaliação da saúde e do bem-estar animal está intrinsecamente ligada às mudanças comportamentais, representando um dos critérios mais cruciais para essa análise (Viazzi et al., 2013). As atividades das bezerras abrangem a ingestão de leite, a ingestão de água, o consumo de alimento sólido, o processo de ruminação, deitar e dormir, lambe ou sugar sem ingestão de leite, além de outras interações, como brincadeiras e socialização com outros animais ou até mesmo com o tratador.

Bezerras que enfrentam enfermidades pulmonares ou gástricas, ou que estão submetidas a condições inadequadas de alojamento e alimentação, manifestam alterações comportamentais (Roland et al., 2018). Essas mudanças são predominantemente causadas pelo aumento do ócio, ou seja, períodos de inatividade e imobilidade, autoisolamento, diminuição do consumo e uma redução nas atividades exploratórias (Costa e Silva et al., 2009). Esses indicadores comportamentais são fundamentais para uma avaliação abrangente e precisa do estado de saúde e bem-estar das bezerras na pecuária leiteira.

Compreender os padrões de comportamento das bezerras, incluindo como elas distribuem suas atividades diárias, como a ingestão de leite, a ruminação, outras atividades e momentos de ócio, constitui um passo crucial inicial. Esse entendimento é fundamental para a formulação de estratégias e a implementação de práticas de manejo que visem aprimorar o desempenho e o bem-estar desses animais. No entanto, a observação direta dos animais é dificultosa e consome tempo.

A recente incorporação de métodos indiretos, como o uso de tecnologias baseadas em sensores para monitorar o comportamento dos animais na fazenda pode ser altamente benéfico, desde que essas tecnologias sejam capazes de monitorar continuamente os parâmetros relevantes de forma confiável (Berckmans, 2006). Observar comportamentos e descrevê-los com precisão com algoritmos confiáveis pode melhorar significativamente a eficiência da rotina de trabalho, reduzindo o tempo necessário para concluir uma tarefa e diminuindo o estresse dos funcionários (Schukken et al., 2008). Isso proporciona aos operadores a oportunidade de se concentrarem em outras áreas importantes da gestão da fazenda.

Esses métodos indiretos, que permitem a medição contínua e automatizada de comportamentos importantes, como o tempo de ruminação foram validados por Schirmann et al. (2009), os quais destacaram a precisão do sistema na medição do tempo de ruminação e do comportamento diário de vacas em lactação, tanto em ambientes de pesquisa quanto comerciais. Resultados consistentes foram corroborados por outros estudos, incluindo o de Calamari et al. (2014).

No entanto, o monitoramento automatizado de bezerros, especialmente durante a fase de aleitamento, ainda é pouco explorado. Implementar um sistema de monitoramento em bezerras recém-nascidas não só permitiria a quantificação do tempo dedicado a diferentes atividades, mas também forneceria dados cruciais sobre seu desenvolvimento, comportamento alimentar e estado de saúde. O objetivo desta tese é validar a aplicação

do monitoramento comportamental em bezerras com idade entre 20 e 90 dias, e avaliar o desempenho do sistema de monitoramento em identificar alterações no comportamento dos animais quanto à incidência de doenças. Essa abordagem pode oferecer percepções valiosas para aprimorar o manejo e o bem-estar das bezerras em fases críticas de seu crescimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Comportamento de bezerros leiteiros

2.1.1 Comportamento alimentar

Os bezerros iniciam seu comportamento alimentar no primeiro dia de vida, com a ingestão do colostro. Em condições naturais, como em rebanhos de corte ou semi-selvagens, os padrões de amamentação dos bezerros com suas mães seguem um ritmo circadiano, com maior atividade ao amanhecer e ao anoitecer (Odde et al., 1985). Geralmente, os bezerros realizam de 4 a 10 mamadas por dia, cada uma com duração média de 7 a 10 minutos (de Passillé, 2001). A frequência das mamadas e o tempo total gasto na amamentação diminuem à medida que a lactação avança, refletindo o declínio na produção de leite (Day et al., 1987).

Os sistemas modernos de produção leiteira impõem diversas restrições ao comportamento alimentar dos bezerros, que são frequentemente alimentados artificialmente e separados de suas mães. A prática de criação de bezerros leiteiros varia consideravelmente entre as fazendas, especialmente no que diz respeito ao volume de leite fornecido e ao sistema de criação. A maioria dos bezerros leiteiros recebe uma quantidade restrita de leite, tipicamente cerca de 10% de seu peso corporal, aproximadamente 4 litros/ dia distribuídos em 2 mamadas por dia (Hötzel et al., 2014).

Estudos indicam que essas quantidades restritivas de leite podem resultar em períodos de fome para os animais (de Paula Vieira et al., 2008). Pesquisas realizadas em sistemas onde bezerros têm acesso a alimentadores automáticos de leite mostram que aqueles que recebem 4 litros por dia visitam os alimentadores em média 24 vezes por dia, mais de 2,5 vezes mais frequentemente do que os bezerros alimentados ad libitum (Borderas et al., 2009). Este comportamento pode ser atribuído à restrição alimentar imposta, levando os bezerros a buscar alimento com maior frequência.

As práticas de manejo adotadas pela fazenda, como a quantidade de leite e a maneira como é ofertado tem um papel importante na definição do comportamento alimentar dos bezerros e estão estreitamente relacionadas ao seu desempenho e bem-estar (Miller-Cushon et al., 2015). Por exemplo, bezerros alimentados com mamadeira passam aproximadamente de 44 a 47 minutos por dia sugando (Hammel et al., 1988; Appleby et al., 2001), enquanto aqueles alimentados com balde gastam apenas cerca de 18

minutos/dia bebendo leite (Hammel et al., 1988). Além disso, bezerros alimentados com mamadeira podem apresentar comportamentos como cabeçadas no aparelho de alimentação, frequentemente observado em bezerros que mamam em suas mães (Jensen et al., 2006).

A sucção não nutritiva, caracterizada pelo comportamento de sugar outros bezerros ou objetos, é frequentemente observada em bezerros alimentados com leite em balde sem bico, onde são impedidos de expressão o comportamento de sugar (De Passillé, 2001) ou quando recebem uma quantidade não suficiente de leite ao dia e demonstram comportamentos de fome (Keil & Langhans, 2001). Em contraste, este comportamento é raramente descrito em ambientes naturais, onde os bezerros recebem leite suficiente diretamente de suas mães.

Um estudo conduzido por Fröberg e Lidfors (2009) constatou que bezerros criados com suas mães nunca apresentaram sucção não nutritiva. No entanto, em um experimento onde 18 bezerros foram alimentados com uma alta quantidade de leite (9 L/dia) através de um alimentador automático, 11 deles demonstraram esse comportamento (Fröberg & Lidfors, 2009). O alimentador automático distribuía o leite em pequenas porções, o que possivelmente motivou os bezerros a continuar a sugar, mesmo após receberem sua porção de leite inicial (De Passillé et al., 1992). Também é possível que 9 L/d não tenham sido suficientes para satisfazer a fome dos bezerros, visto que os bezerros podem beber aproximadamente 15 L/d quando têm oportunidade (Borderas et al., 2009; Rosenberger et al., 2017).

Em um estudo que alimentaram bezerros com uma oferta diária de leite de 20% do peso vivo, durante os primeiros 30 dias de vida, comparando com bezerros alimentados com 10% do peso vivo, o ganho médio diário, tanto antes, quanto após o desaleitamento foi maior em bezerros, que ingeriram em média 7,7 L/de leite em comparação com 4,6 L/de leite em bezerros alimentados convencionalmente (Khan et al., 2007), resultados semelhantes são evidenciado por estudos como Jasper e Weary (2002), Miller-Cushon et al. (2013) e Rosenberger et al. (2017). Em estudos que avaliariam novilhas de reposição, o aumento da ingestão de leite no início da vida está associado à inseminação precoce e ao aumento da produção futura de leite (Soberon e Van Amburgh, 2013).

No entanto, persiste um debate em torno das práticas de manejo que verdadeiramente aprimoram o desempenho e o bem-estar de bezerros alimentados com leite. Há preocupações específicas em relação à alimentação com quantidades

substanciais de leite, especialmente no período anterior ao desaleitamento. Essa inquietação surge devido ao fato de que o fornecimento generoso de leite reduz a ingestão da dieta inicial (starter). Essa questão tem sido amplamente debatida em estudos como os de Sweeney et al. (2010), Steele et al. (2017) e Van Niekerk et al. (2021).

O desaleitamento, diferentes dos ambientes naturais, onde é um processo gradual, culminando quando bezerro tem de 7 a 14 meses de idade e envolve uma série de eventos, como a diminuição do leite, aumento constante do consumo de alimento sólido e a mãe começa a rejeitar algumas tentativas de amamentação do bezerro (Enríquez et al., 2011), já nos sistemas de produção industrial, os bezerros leiteiros podem ser desaleitados de forma abrupta, sendo definido como a retirada imediata do leite, de forma que os bezerros sejam alimentados com toda a quantidade de leite (9 L/dia) até o dia do desaleitamento, onde o leite é retirado imediatamente (0L/dia) (Sweeney et al., 2010; Bittar et al., 2020). E também, de forma gradual que é definido como uma forma de procedimento de redução, em que os bezerros recebem uma quantidade total de leite de 3-6 semanas de idade, momento em que o leite é gradualmente reduzido ao longo de 5 dias até metade do volume (por exemplo, 8 L /d a 4 L/d em 5 dias); os bezerros são alimentados com esse volume reduzido até o desaleitamento, onde o leite é novamente reduzido ao longo de 5 dias (para 0 L/d) (Khan et al., 2007; Rosenberger et al., 2017).

Para facilitar a transição de uma dieta líquida para uma dieta sólida para bezerros alimentados com mais leite, diversas técnicas podem ser usadas para aumentar a ingestão de starter antes do desaleitamento. Por exemplo, os métodos de desaleitamento gradual (incluindo técnicas de redução gradual; Khan et al., 2007) e habitação social (Costa et al., 2015; Jensen et al., 2015) podem aumentar o consumo de alimentos sólidos antes do desaleitamento e ajudar a manter o ganho de peso durante e após o desaleitamento. O uso dessas técnicas, combinado com a oferta de leite >15% do PC, pode permitir melhores ganhos de peso e bem-estar dos bezerros em comparação com a oferta padrão de 10% do PC (Khan et al., 2011).

Em um estudo conduzido por Rosenberger et al. (2017), 56 bezerros foram distribuídos em 4 tratamentos de alimentação com leite integral pasteurizado: 6, 8, 10 ou 12 L/dia. A quantidade de leite foi reduzida gradualmente para desaleitamento aos 55 dias, e os bezerros tiveram acesso ad libitum a concentrado inicial e feno. A ingestão de concentrado foi maior para bezerros que receberam menos leite. O ganho médio diário foi maior para bezerros que receberam mais leite, variando de $0,77 \pm 0,04$ kg/dia no

tratamento de 6 L para $0,90 \pm 0,03$ kg/dia no tratamento de 12 L. Antes do desaleitamento, bezerros com menos leite faziam mais visitas sem recompensa ao alimentador automático de leite. Durante o desaleitamento, essa tendência continuou, mas após o desaleitamento, não houve diferença entre os tratamentos. Maiores quantidades de leite resultam em vantagens de ganho de peso antes do desaleitamento que podem persistir além do desaleitamento, e o número elevado de visitas não recompensadas pode ser um indicativo de fome.

O tipo de alimento ingerido pelos bezerros influencia diretamente o desenvolvimento da estrutura e tamanho do rúmen (Berchielli et al., 2006). Essa observação é sustentada pelo estudo clássico de Stobo et al. (1966), que analisou o desenvolvimento do trato digestório de bezerros alimentados com dietas ricas em feno ou concentrado. Eles concluíram que dietas ricas em concentrado promovem um maior desenvolvimento das papilas ruminais devido ao butirato produzido no rúmen através da fermentação de carboidratos (Warner et al., 1956; Sander et al., 1959).

O fornecimento de forragem é um tema controverso, pois há preocupações de que possa reduzir a ingestão de concentrado e, assim, prejudicar o desenvolvimento das papilas ruminais (Hill et al., 2008; Kertz et al., 1979). No entanto, evidências sugerem que a forragem não necessariamente reduz a ingestão de concentrado (Khan et al., 2011; Castells et al., 2012) e pode impactar positivamente o ambiente ruminal, aumentando o pH do rúmen (Suárez et al., 2007; Khan et al., 2011) e a eficiência alimentar (Coverdale et al., 2004). A inclusão de feno na dieta dos bezerros leiteiros também reduz a ocorrência de comportamentos orais não nutritivos (Castells et al., 2012). Além disso, Toledo et al. (2023) destacaram que a inclusão de 10% de silagem de milho nas dietas de bezerros leiteiros jovens é uma estratégia eficaz para elevar a ingestão total de sólidos e reduzir o risco de acidose. Essa adição contribui para aumentar o pH e estimular a atividade de ruminação, especialmente próximo ao desaleitamento.

Na presença da vaca, os bezerros começam a pastar mais cedo. Foi relatado que bezerros de corte criados extensivamente pastam lentamente, selecionando o pasto, por curtos períodos (10-15 minutos) nas primeiras semanas de vida, com o tempo de pastejo aumentando linearmente de aproximadamente 20 minutos aos 10 dias para 360 minutos aos 100 dias de idade, o que corresponde a cerca de 70% do tempo de pastejo de uma vaca adulta (Nicol e Sharafeldin, 1975). Os padrões diurnos de pastoreio dos bezerros espelham os das vacas adultas, com picos semelhantes na atividade alimentar, mas com

atividade reduzida fora dos horários de pico em comparação com o gado adulto (Nicol e Sharafeldin, 1975).

O início da ruminação em bezerros é um período de grande interesse, um estudo conduzido por Swanson e Harris (1958) abordou o início da ruminação em bezerros, definindo-a como o processo que engloba a regurgitação, a mastigação e a reintrodução do alimento previamente ingerido no rúmen. Esses pesquisadores observaram que os bezerros começam a exibir comportamentos de ruminação por volta da segunda semana de vida, registrando tempos de ruminação de até 5 horas por dia entre a sexta e a oitava semana. Essa tendência é corroborada Heisler et al. (2020), ao avaliarem os efeitos dos extratos de chá verde (*Camellia sinensis*) e orégano (*Origanum vulgare*) sobre o comportamento de bezerras da raça Jersey do nascimento aos 60 dias, observaram que os extratos anteciparam a ocorrência da primeira ruminação e a ingestão de palha em aproximadamente 7 dias comparados com o grupo controle.

É notável que o tempo dedicado à ruminação é mais extenso durante a noite do que durante o dia, seguindo o comportamento observado em vacas leiteiras, onde a atividade ruminal noturna pode representar até 60% do tempo total diário de ruminação (Soriani et al., 2012). Adicionalmente, de acordo com Babu et al. (2004), a maior atividade de ruminação dos bezerros durante a noite pode estar relacionada ao período prolongado de ócio após a alimentação com leite à noite, bem como à menor interação com seus tratadores. Essas descobertas revelam padrões interessantes e complexos no comportamento de ruminação dos bezerros, indicando a influência de vários fatores, incluindo idade e horário do dia.

2.1.2 Comportamento de repouso

O ócio ou repouso, conforme definido por Orr et al. (2001), abrange o intervalo em que o animal não se encontra em atividades alimentares, ruminação ou ingestão de água. Em média, esse período compreende cerca de 10 horas diárias, com variações entre nove e 12 horas por dia, as quais podem variar de acordo com a categoria animal.

O tempo de repouso exerce influência no desenvolvimento das bezerras, e uma correlação entre o tempo de repouso e a idade foi identificada, bezerras com 2 semanas de idade dedicam de 50 a 70% do dia ao repouso, uma proporção que diminui para 37% quando atingem 14 semanas de idade (Webster et al., 1985; Hänninen et al., 2005). Em contraste, vacas adultas passam entre 5,2 (22%) e 16 horas (67%) do dia em repouso (Ledgerwood et al., 2010). Além da idade, diversos fatores, como o sistema de criação,

clima, o tipo de cama e a presença ou ausência de parceiros sociais, podem influenciar o comportamento de repouso (Phillips, 2004).

Um estudo avaliou o comportamento de deitar-se de cinco bezerros leiteiros em camas de serragem, variando os níveis de matéria seca da serragem (MS) em quatro níveis (74, 59, 41 e 29%) e em concreto descoberto. O tempo dedicado ao repouso na cama molhada diminuiu de $5,3 \pm 1,1$ hora/dia com 74% de MS para quase zero a 29% de MS. Os períodos de descanso foram mais prolongados na cama seca em comparação com a cama úmida, e nenhum bezerro jamais se deitou diretamente no concreto exposto (Camiloti et al., 2012).

O tamanho da baía pode influenciar significativamente o comportamento de repouso e socialização em bezerras leiteiras. Estudos têm demonstrado que áreas de repouso menores podem limitar tanto a duração da locomoção quanto o tempo de repouso, conforme observado por Rushen et al. (2007). Diversos estudos destacam a relação entre o tempo de repouso e diferentes sistemas de alojamento, incluindo a profundidade e o tipo de cama, tanto em vacas quanto em bezerras (Yanar et al., 2010). Essas descobertas ressaltam a importância das condições ambientais na promoção de comportamentos naturais e saudáveis em bezerras leiteiras. Áreas de repouso maiores tendem a promover interações sociais mais positivas e menos competitivas entre os animais, enquanto espaços reduzidos, embora aumentem a proximidade física entre os bezerros, podem comprometer o conforto durante o repouso, levando a uma diminuição no tempo de repouso. Esse comprometimento do repouso “confortável” pode resultar em aumento do estresse e em comportamentos anômalos, que são indicativos de um bem-estar reduzido (Faerevik et al., 2008).

2.1.3 Comportamento lúdico

Os bezerros exibem uma variedade de comportamentos lúdicos que combinam elementos locomotores e sociais, os quais podem servir como indicadores importantes do seu bem-estar positivo (Boissy et al., 2007). A brincadeira locomotora engloba atividades como correr, chutar, pular e resistir (Jensen et al., 1998; Jensen & Kyhn, 2000), enquanto a brincadeira social envolve interações como cabeçadas entre dois bezerros de forma lúdica ou um bezerro montando sobre o corpo de outro (Jensen, 2000).

Burghardt (2005) definiu o comportamento lúdico destacando características como a sua falta de funcionalidade direta, ou seja, não contribui diretamente para a sobrevivência imediata do animal. Em vez disso, acredita-se que o comportamento lúdico

ocorre devido às propriedades psicológicas gratificantes inerentes à sua manifestação, proporcionando benefícios para o bem-estar (Held et al., 2011).

Existem evidências sugerindo que o comportamento lúdico surge quando não há ameaças à aptidão do animal. Por exemplo, em animais feridos ou não saudáveis, a brincadeira pode diminuir ou desaparecer completamente, retornando à medida que se recuperam (Fagen, 1981). Em bezerras, a redução da brincadeira locomotora foi observada em situações como desnutrição ou redução da oferta alimentar (Krachun et al., 2010; Rushen & de Passillé, 2012). Além disso, o contato social influencia o comportamento lúdico, como evidenciado por estudos que mostram que bezerras alojadas individualmente brincam menos do que aquelas alojadas em pares (Duve et al., 2012).

Quando alojadas em pares, as bezerras se aproximam e cheiram outros animais mais rapidamente do que aquelas alojadas individualmente. Por outro lado, as bezerras alojadas individualmente tendem a empurrar outras com mais força quando a interação social é iniciada, conforme indicado por De Paula Vieira et al. (2012).

Estudos que investigaram o alojamento social revelaram que as bezerras são mais ativas quando mantidas em pares ou grupos, mostrando um aumento significativo no tempo gasto em pé (Chua et al., 2002). Adicionalmente, a falta de oportunidades para realizar comportamentos sociais pode ser a causa de comportamentos anormais, como a lambadura excessiva do próprio corpo e acessórios, algo observado em bezerras alojadas individualmente, conforme discutido por Bokkers e Koene (2001). Essas descobertas ressaltam a importância do contato social na promoção de comportamentos naturais e saudáveis em bezerras.

Esses critérios constituem indicadores valiosos da interação do animal com seu ambiente e são elementos essenciais para assegurar o conforto das bezerras. Manter instalações constantemente limpas, proporcionar camas secas e confortáveis, garantir boa ventilação, oferecer sombra, assegurar boa insolação e separar os animais por idade são práticas fundamentais, conforme apontado por Fregonesi e Leaver (2001).

2.1.4 Comportamentos na doença

As bezerras executam uma variedade de atividades, incluindo a ingestão de leite, água e alimento sólido, bem como o ato de ruminar, lamber ou sugar sem a ingestão de leite. Além disso, elas praticam outras atividades, como brincar e interagir socialmente, tanto com outros animais quanto com o tratador. Quando bezerras enfrentam condições adversas, como doenças pulmonares ou gástricas, ou experimentam níveis reduzidos de

bem-estar animal, demonstram alterações comportamentais, tais como isolamento, diminuição do consumo e comportamento exploratório, conforme observado por Roland et al. (2018) e Costa e Silva et al. (2009).

Esses estudos ressaltam que as métricas comportamentais podem oferecer indicadores quantitativos do bem-estar e do estado de saúde das bezerras. Quando um animal evita de forma acentuada uma situação específica ou um objeto particular, isso indica que seu nível de bem-estar pode estar comprometido. Da mesma forma, a dificuldade do animal em encontrar uma postura adequada para o repouso sugere insatisfação, conforme abordado por Broom e Molento (2004) e Broom e Fraser (2010). Essas avaliações comportamentais representam ferramentas valiosas para aprimorar o cuidado e o ambiente proporcionados a esses animais jovens.

Os processos infecciosos causam mudanças fisiológicas e comportamentais, incluindo febre, anorexia, apatia, depressão e isolamento social (Hart, 1988). Borderas et al., (2008) constataram que bezerras doentes diminuem a ingestão de leite e feno, atividade e interação com o meio em que vivem e aumentam a duração do comportamento em repouso. Bezerros alojados em grupos que têm alguma doença respiratória, febre ou estão se recuperando de uma doença diarreica têm uma menor probabilidade de se aproximar de um novo objeto ou ser humano em comparação com companheiros saudáveis (Cramer e Stanton, 2015)

A observação do comportamento animal tem sido uma ferramenta fundamental para os criadores de gado identificarem problemas de saúde ao longo dos séculos. Com avanços tecnológicos recentes, como gravações de vídeo e monitoramento comportamental automatizado, tornou-se possível realizar observações mais detalhadas do comportamento de doença em bezerros e outros animais (Weary et al., 2009). A compreensão desses comportamentos específicos, juntamente com a resposta febril, em bezerros e animais jovens é crucial para a gestão eficaz da saúde e do bem-estar desses animais.

2.2 Adoção de tecnologias na pecuária leiteira

2.2.1 Pecuária leiteira de precisão

A pecuária leiteira de precisão representa um avanço notável na gestão agrícola, definida como a utilização de tecnologias de informação e comunicação para otimizar o controle da variabilidade dos recursos físicos e animais em larga escala. Essa abordagem

específica da pecuária visa aprimorar o desempenho econômico, social e ambiental das fazendas leiteiras (Eastwood et al., 2012). Dentro do espectro mais amplo da agricultura de precisão, a pecuária de precisão aborda aspectos como o crescimento animal, a produção de produtos animais, sistemas de produção, saúde animal, comportamento e ambiente físico (Wathes et al., 2008).

Os produtores da indústria leiteira estão adotando tecnologias de precisão para melhorar a gestão individual de animais, grupos ou currais, bem como a eficiência geral da fazenda (Wathes et al., 2008). Essas tecnologias têm o potencial de reduzir a subjetividade nas decisões, otimizando o uso de mão de obra qualificada e experiente. Ao monitorar continuamente parâmetros relevantes e descrevê-los com precisão por meio de algoritmos confiáveis, essas tecnologias podem aumentar significativamente a eficiência das operações (Berckmans, 2006). Entre essas tecnologias estão sensores para detecção precoce de doenças, dispositivos de monitoramento ambiental e animal, associados a tecnologias de processamento e análise de dados (Unold et al., 2020).

2.2.2 Tipos de sensores

O uso de sensores na pecuária tem sido incentivado desde a década de 1990, com um consenso de que esses dispositivos, ao monitorarem o comportamento animal, podem reduzir a necessidade de observação visual e aumentar a capacidade de gerenciamento (Frost et al., 1997). Esses sensores são categorizados em duas principais classes: estacionários e vestíveis (Ruuska et al., 2016).

Os sensores estacionários são unidades fixas instaladas no ambiente que registram a dinâmica dos animais. Câmeras remotas e leitores de identificação por radiofrequência, por exemplo, são utilizados para avaliar o consumo de alimentos e água em sistemas de produção intensiva (Williams et al., 2020). Além disso, fornecem dados individuais detalhados, como tempo e duração das visitas aos pontos de alimentação, consumo e frequência de alimentação (Allwardt et al., 2017).

Já os sensores vestíveis são pequenos dispositivos fixados diretamente nos animais, permitindo o monitoramento contínuo do comportamento individual. Exemplos incluem sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), acelerômetros, monitores acústicos e de proximidade. Esses sensores registram atividades diárias dos animais (Talukder et al., 2015; Patison et al., 2017; Bailey, 2018), identificando posturas (como estar em pé ou deitado) e atividades comportamentais (como caminhar, descansar, pastar ou ruminar), além de determinar a localização geográfica (Williams et al., 2019).

Entre as tecnologias de sensores vestíveis, os acelerômetros têm se destacado pela capacidade de identificar alterações comportamentais em vacas antes do surgimento de doenças. Os dispositivos triaxiais mensuram o ângulo de inclinação em relação à terra e a aceleração dinâmica, oferecendo dados sobre a posição (vertical ou horizontal) e a velocidade e direção do movimento. Dessa forma, os acelerômetros tridimensionais fornecem uma avaliação objetiva e não invasiva dos padrões normais de comportamento dos animais (Robert et al., 2009; Costa et al., 2021).

A interpretação desses dados brutos de posição, velocidade e direção é realizada por meio de algoritmos, proporcionando percepções valiosas sobre o comportamento dos animais (Costa et al., 2021). Essa abordagem possibilita uma detecção precoce de possíveis problemas de saúde, contribuindo para a implementação de intervenções eficazes em prol da saúde e bem-estar desses animais.

Além disso, os alimentadores automáticos para bezerros têm se destacado como uma inovação significativa na pecuária leiteira. Esses dispositivos permitem a alimentação individualizada e controlada dos bezerros, ajustando a quantidade e a frequência das refeições conforme a necessidade específica de cada animal. Ao monitorar o consumo de alimento e o comportamento de alimentação, os alimentadores automáticos não apenas garantem que os bezerros recebam a nutrição adequada, mas também auxiliam na detecção precoce de problemas de saúde, como doenças digestivas ou respiratórias (Borderas et al., 2009; Svensson & Jensen 2007; Sutherland et al., 2018). A integração de alimentadores automáticos com o uso de acelerômetros para medir o comportamento dos animais, como bezerros, permite monitorar o consumo de leite, comportamentos de alimentação e atividades dos animais de forma automatizada. Dessa forma, a implementação de alimentadores automáticos combinada com sensores vestíveis, como os acelerômetros, contribui significativamente para o bem-estar animal e a eficiência na produção leiteira, permitindo uma melhor gestão do desempenho dos animais (Costa et al., 2021).

2.2.3 Determinantes do uso de sensores na pecuária

A decisão de adquirir e implementar uma tecnologia de precisão representa um investimento significativo para o produtor, que muitas vezes enfrenta o desafio de escolher uma tecnologia que atenderá às suas necessidades por muitos anos. Para isso, é necessário considerar diversos fatores distintos, como a escala financeira, demográfica e outros (Brochers & Bewley, 2015).

O desenvolvimento de sistemas de sensores pode ser dividido em quatro etapas: (1) a tecnologia ou sensor que mede algum parâmetro do animal individualmente (por exemplo, tempo de ruminação); (2) interpretações que resumem as mudanças nos dados do sensor para produzir informações sobre o status do animal (por exemplo, uma queda na ruminação gera um alerta sugestivo de deslocamento de abomaso); (3) a integração dessas informações com outros conhecimentos para gerar sugestões (valor econômico); e (4) o produtor toma uma decisão ou o sistema de sensores decide de forma autônoma (operar ou descartar o animal) (Rutten et al., 2013).

Diversos fatores podem influenciar a decisão do produtor em usar essas tecnologias de precisão, tais como a compatibilidade com o gerenciamento da fazenda, custo-benefício, complexidade, possibilidade de testes na fazenda (Yule; Eastwood, 2012; Vieira et al., 2021), redução do trabalho e, por consequência, menor custo de mão de obra e maior facilidade no manejo diário do rebanho. As fazendas que adotaram algum tipo de tecnologia de precisão obtiveram uma redução de até 23% das horas trabalhadas por vaca/semana, comparadas àquelas que não faziam uso de sistemas de monitoramento por sensores (Steenefeld; Hogeveen, 2015).

Além dos benefícios operacionais, a adoção de tecnologias de precisão na pecuária leiteira pode melhorar a percepção pública do setor. Os consumidores estão cada vez mais preocupados com a segurança alimentar, bem-estar animal e sustentabilidade ambiental (Berckmans, 2006). O uso dessas tecnologias pode demonstrar um compromisso claro com a saúde e o bem-estar dos animais, além de melhorar a eficiência geral da produção e reduzir o impacto ambiental, contribuindo para uma imagem mais positiva da indústria (Laca, 2009).

Para que as tecnologias de produção leiteira de precisão sejam economicamente viáveis, é crucial que elas possam facilmente monitorar parâmetros fisiológicos ou comportamentais dos animais. Muitos esforços têm sido direcionados para a classificação de condições como mastite e estro, bem como para avaliar a locomoção e a saúde metabólica (Rutten et al., 2013).

A avaliação dessas tecnologias de precisão geralmente segue uma abordagem de classificação binária, onde os alertas gerados pelos sensores são comparados com a ocorrência real do evento de interesse, muitas vezes observado visualmente. Essa comparação é fundamental para determinar a eficiência da tecnologia, considerando os verdadeiros positivos (VP), falsos negativos (FN), falsos positivos (FP) e verdadeiros

negativos (VN) (Hogeveen et al., 2010). A eficiência de um sensor é determinada por métricas como sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo, valor preditivo negativo, precisão e acurácia, que quantificam sua capacidade de detectar eventos de interesse com exatidão e sem gerar alertas falsos (Hogeveen et al., 2010).

Ferramentas que detectam alterações fisiológicas e comportamentais são cruciais para produtores e pesquisadores, permitindo o monitoramento contínuo do bem-estar dos animais sem interferir em seus padrões naturais de comportamento (Bikker et al., 2014). No entanto, a precisão e a acurácia dessas tecnologias dependem da correta quantificação e descrição dos dados comportamentais (Müller e Schrader, 2003).

2.2.4 Sensores para monitoramento de bezerros

O emprego de sensores para monitorar o comportamento de bezerros, utilizando tecnologias que registram dados, tem sido amplamente explorado para avaliar diversos aspectos, que vão desde o comportamento de repouso (Bonk et al., 2013; Swartz et al., 2016), caminhada (De Passillé et al., 2010; Swartz et al., 2016), padrões de marcha (De Passillé et al., 2010), ruminação (Burfeind et al., 2011) e ingestão de leite (Breitenberger et al., 2015). Para que esses sensores sejam confiáveis e possam ser utilizados com segurança, é necessário validar os dados de cada animal individualmente, garantindo assim medições precisas de variáveis comportamentais e fisiológicas. Esse processo envolve a avaliação da precisão, exatidão e o uso da tecnologia no ambiente de produção. Estudos de validação comparam os dados de comportamento registrados pela tecnologia com medidas conhecidas de comportamento, como a observação visual, ou com outra tecnologia já validada e reconhecida como padrão ouro (Costa et al., 2021).

O comportamento dos bezerros muda quando estão enfrentando alguma patologia; por exemplo, eles passam menos tempo ruminando e se alimentando, além de apresentarem uma redução no nível de atividade. Esses comportamentos podem ser monitorados de maneira não invasiva por meio de sensores. Dessa forma, os traços comportamentais se tornam variáveis importantes para a predição do desempenho na recria (Miller et al., 2020). Por exemplo, novilhos com complexo de doença respiratória bovina (BRD) aumentaram seu tempo total de repouso em até 11%, com sessões de repouso significativamente mais longas durante os dias em comparação com bezerros do grupo controle (Toaff-Rosenstein et al., 2016). Essa capacidade de captar nuances

comportamentais durante condições de saúde adversas destaca a eficiência desses dispositivos na detecção precoce de alterações no estado de saúde em bezerros leiteiros.

O monitoramento do comportamento em bezerros alimentados em comedouros automáticos emerge como uma estratégia eficaz na identificação precoce de animais em risco de doença (Trénel et al., 2009). Estudos anteriores, como o de Quimby et al. (2001), destacam a utilidade do comportamento alimentar na predição da morbidade em bezerros, até quatro dias antes do diagnóstico feito pelo pessoal da fazenda.

Pesquisas conduzidas por Svensson e Jensen (2007) revelaram que bezerros doentes demonstram uma redução nas visitas não recompensadas ao comedouro, comparados aos saudáveis. Borderas et al. (2009) também observaram que bezerros com alta oferta de leite diminuem sua ingestão diária, tornando-se menos ativos e aumentando o tempo de ócio, dias antes de apresentarem sintomas clínicos de doença respiratória.

Estudos como o de Sutherland et al. (2018) ressaltam que bezerros com diarreia neonatal tendem a ter menos visitas não recompensadas aos comedouros automáticos, menor consumo de leite e maior tempo de ócio do que bezerros saudáveis. Essas descobertas destacam a importância de monitorar não apenas o comportamento alimentar, mas também o tempo de ócio e suas atividades, para uma identificação precoce e eficaz de doenças em bezerros leiteiros.

O comportamento de ruminação possui grande potencial para detectar doenças em bezerros. No entanto, a aplicação do monitoramento automatizado da ruminação ainda é limitada. Isso provavelmente se deve às idades variáveis nas quais os acelerômetros conseguem medir a ruminação de forma eficaz (Rodrigues et al., 2019). Por exemplo, a ruminação foi detectada usando acelerômetros de gerenciamento de rebanho em bezerros de seis semanas (Hill et al., 2017), oito semanas (Reynolds et al., 2019) e até 12 semanas de idade (Rodrigues et al., 2019). No entanto, há um debate sobre a idade exata em que ocorre a verdadeira ruminação em bezerros, conforme discutido por Khan et al. (2016).

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

As hipóteses deste estudo são:

O sistema de monitoramento de comportamento é capaz de identificar a atividade geral e o ócio de bezerras leiteiras;

O sistema de monitoramento é capaz de identificar mudanças comportamentais antes da manifestação clínica de doenças em bezerras.

O objetivo geral foi:

Validar o uso do monitoramento comportamental em bezerras com idade de 20 a 90 dias de vida, e avaliar a capacidade do sistema em identificar precocemente doenças em bezerras.

Os objetivos específicos foram:

1) Validar o monitoramento (atividade geral e ócio) a partir do uso de acelerômetro;

2) Analisar a precisão do sistema em identificar mudanças comportamentais precoce associadas a doenças em bezerras;

3) Comparar os resultados do sistema com diagnósticos clínicos tradicionais para validar a acurácia, sensibilidade e especificidade das detecções.

CAPÍTULO II

Validation of the precision and accuracy of a behavioral monitoring collar to measure general activity and idle time of dairy calves.


Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação do **Journal Dairy Science Communication**.

FULL TITLE: Validation of the precision and accuracy of a behavioral monitoring collar to measure general activity and idle time of dairy calves.

Júlia Fernandes Aires¹, João Vitor Ribeiro Lovatti², Luiz Fernando Garrido³, Tadeu Eder da Silva², Ruan Rolnei Daros³, Vivian Fischer¹, João Henrique Cardoso Costa^{2*}

Graphical Abstract

This study validated the accuracy of the behavior monitoring collar for recording general activity and idle behavior in dairy calves.

Objective and Methods
Validate the precision and accuracy of an animal behavior monitoring collar in pre-weaned Holstein dairy calves.
Validation: Visually recorded vs. Behavior monitoring collar. 

Statistical analysis and criteria
Precision: <ul style="list-style-type: none"> If the Person correlation coefficient “r” was high (>0.70); If the Coefficient os determination “r²” was high (>0.70).
Accuracy: <ul style="list-style-type: none"> If the slope from linear regression did not different from one; 95% interval of agreement included zero for mean bias from Bland-Altman plots.



Visually recorded measures

Calve monitoring collar



Comportamento	Correlação de Person (r)	Coefficiente de determinação (r ²)	inclinação (95% C.I)	Viés médio dentro de 95% de concordância
Atividade geral	0.84	0.70	0.91 (0.84 – 0.97)	✓
Ócio	0.83	0.69	0.95 (0.92 – 0.98)	✓

Summary

The objective of this study was to validate the precision and accuracy of a behavioral monitoring collar compared to visual observation. A total of 23 Holstein calves were fitted with the devices seven days before the start of observations, both were observed for 4 days, totaling 1440 min. This study validates the accuracy of the BMC for recording the general activity and idleness behavior of dairy calves.

Highlights

- The BMC was precise recording general activity behavior.
- The BMC was precise recording idle behavior.

SHORT TITLE: Validation of a behavioral monitoring collar for dairy calves

**Validation of the precision and accuracy of a behavioral monitoring collar to
monitor general activity and idle time of dairy calves**

Júlia Fernandes Aires¹, João Vitor Ribeiro Lovatti², Luiz Fernando Garrido³, Tadeu Eder da Silva², Ruan Rolnei Daros³, Vivian Fischer¹, João Henrique Cardoso Costa^{2*}

¹ Animal Science Department, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 91540-000, Rio Grande do Sul, Brazil

² Department of Animal and Veterinary Sciences, The University of Vermont, Burlington, Vermont, 05405

³ Graduate Program in Animal Science, School of Medicine and Life Sciences, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 80215-901, Brazil

*Corresponding author: João H. Cardoso Costa; email: joao.costa@uvm.edu

ABSTRACT

Calf rearing is a crucial phase in dairy farming, requiring attention from birth to weaning. This phase requires high human labor, and it is often neglected because it does not generate immediate economic returns. In this context, monitoring animal behavior plays a fundamental role in the assessment of behaviors that reflect the state of animal well-being and health and can be a tool for these assessments in a continuous and accurate way in real time. Cross-device precision and accuracy are not investigated for behavioral monitoring technologies but are critical for using data in population metrics and for comparing calf data. The objective of this study was to validate the precision and accuracy of an animal behavior monitoring collar (BMC; CowMed-Bezerra, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), in Holstein calves in the suckling and pre-weaning phases. Twenty-three Holstein calves raised on a commercial farm were randomly selected, divided into three groups, aged between 20 and 90 days and weighing between 45 and 110 kg. The calves had their general activity and idleness behaviors recorded in two ways: BMC and visual observation. Visual behavior observation was conducted by three trained observers at 1 min intervals. The BMC was placed on the calves seven days before the start of the evaluation, to adapt the animals. Each calf was observed 360 minutes a day (from 10 am to 1 pm and from 7 pm to 10 pm) for four days, totaling 1.440 minutes. Rumination, feeding and activity times were added together and considered as general activity. We compare the times of general activity and idleness recorded by the BMC with visual observation of the calves' behavior using Pearson's correlation (r); the coefficient of determination (r^2) and Lin's concordance correlation coefficient (ρ_c) to evaluate precision; while linear regression and Bland-Altman plots were used to assess accuracy. We found high correlations for overall activity and inactivity, evaluating the precision. Bland-Altman plots showed no bias. The mean differences \pm Bland-Altman standard deviation (BMC - visual observation) were -6.68 ± 2.72 min/h for general activity and -3.86 ± 2.72 min/h for idleness. Mean differences, however, included zero within the 95% agreement interval, indicating that there was no significant difference between BMC and visual observation. The slope of the linear regression differed from 1 for all behaviors, indicating that BMC underestimated both general activity and idleness. This study validates the high accuracy of general activity and idleness behaviors measured by a BMC in dairy calves.

Keywords: accelerometer, activity, artificial intelligence, idle, precision livestock.

Calf raising is critical in dairy farming, as this category of animals represents the future of the farm. However, this step is often neglected as it is high-labor demanding and does not generate immediate economic return (Ollhoff et al., 2008). Animal losses in the first weeks of life can significantly impact dairy operations, both economically and in terms of animal welfare, also affecting society's perception of dairy production (Ventura et al., 2016).

In this context, the use of Precision Dairy Technologies (PDT) to monitor animal behavior plays a key role in assessing behaviors that reflect welfare status (Rushen et al., 2012) and animal health (Stangaferro et al., 2016), as well as becoming a tool for effective herd management (Halachmi and Guarino, 2016). With technological advances, automated monitoring systems have emerged as promising tools to accurately and continuously assess and record behaviors (Costa et al., 2021). These technologies represent an objective and effective approach to monitoring animal behavior, processing raw data through algorithms to detect behavioral changes in real-time (Borchers et al., 2016), simplifying an otherwise subjective and time-consuming process (Eerdeken et al., 2021). Moreover, farmer and technicians are more prone to use these PDT to save time and reduce labor (Vieira et al., 2021).

However, the reliable use of these technologies requires the validation of individual animal data to ensure accurate measurements of behavioral and physiological variables (Halachmi and Guarino, 2016). Validation studies compare behavioral data recorded by technology with known behavioral measures, such as visual observation, or with other validated technologies known as the gold standard (Costa et al., 2021). Validation of precision and accuracy is essential to ensure the reliability and usefulness of these tools in different environments and animal age groups (Borchers et al., 2016; Reynolds et al., 2019). These validations ensure that PDT can provide accurate and

consistent results, regardless of environmental variations or animal characteristics, enabling more informed and effective decision-making in livestock management (Costa et al., 2021).

Most studies involving PDT are focused on lactating dairy cows. These studies have shown that PDT can be effective in monitoring important parameters such as milk production (Edwards et al., 2015), heat, animal health and welfare (Borchers and Bewley, 2015), optimizing the management of dairy farms. In dairy calves, studies have already investigated the use of data loggers to identify locomotion activity (De Passillé et al., 2010; Swartz et al., 2016), rumination behaviors (Burfeind et al., 2011; Rodrigues et al., 2019), and milk consumption in automatic feeders (Breitenberger et al., 2015). However, there is a lack of studies that address both the precision and accuracy of these specific devices in dairy calves.

Therefore, this study aimed to validate the precision and accuracy of a behavioral monitoring collar (BMC; CowMed-Bezerra, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR) in Holstein calves in the suckling and pre-weaning phases.

This study was approved by the Animal Use Ethics Committee of the Federal University of Rio Grande do Sul (protocol number 42.124), and was carried out on a commercial farm, located in Castro, Paraná, Brazil, between March and April 2022.

The number of calves was determined according to the methods of Friedman (1982), assuming effect size of 0.70 (correlation coefficient as a measure of effect size) for a correlation as described by Friedman (1982); power of 0.90 and probability of type I error of 0.05 (bilateral). A minimum of 16 calves was required to meet the statistical requirements.

Twenty-three calves were randomly selected according to age and separated into three groups. The first group consisted of eight calves with 20 - 30 days of age and 45-60

kg of body weight; the second group contained seven calves with 31 - 70 days of age and 60 - 80 kg of body weight; and the third group consisted of eight calves with 71 - 90 days of age and 80 - 110 kg of body weight. The calves of the first and second groups were housed in individual stalls (2.8 m long \times 1.80 m wide) with straw-covered floors. The calves were bottle-fed with six liters of milk daily, divided into two feedings per day (at 9 am and 6 pm). The calves also had Tifton hay, commercial concentrate and water available *ad libitum*. In the third group, the calves were kept in a collective stall (5.6 m long \times 7.2 m wide), with sand bedding, the calves were fed with 2 liters of milk per day, in a collective feeder only in the morning (at 9 am), and received Tifton hay, commercial concentrate and water available *ad libitum*.

The calves had their behaviors recorded in two ways: BMC and visual observation. Seven days before the start of the experiment, the devices were installed in the calves to allow the animals to adapt to the equipment. The BMC consists of a device (11.5 \times 7 \times 3.3 cm; 140g) + nylon band (120g), and was fixed to the calves' necks, positioned longitudinally in the middle of the left side. The life expectancy of BMC batteries is up to 5 years. The BMC data was transmitted wirelessly every hour to an internet-connected base station placed inside the barn. The barn base station could store data for up to 24 hours. All BMC devices have been synchronized to local time (GMT-03). The BMC uses a data pre-processing mechanism where the data is recorded per minute, but coded in 1-hour periods, that is, the cloud received the data in minutes per hour for each behavior (rumination, feeding activity and idle time), these behaviors were validated for lactating cows (Lovatti et al., 2024).

Visual observations were carried out twice a week for each calf, over a period of two weeks, totaling four observations per calf. Each observation session lasted 360 minutes per day, distributed between 10 am and 1 pm, and between 7 pm and 10 pm,

totaling 1440 minutes. To optimize time and improve efficiency, four days of evaluation are required, non-consecutive days are best suited to predict continuous rumination data and non-nutritive oral behaviors (Xiao et al., 2022).

Three observers were trained to observe the behaviors rumination, feeding activity, licking and sucking, playing and idleness, according to the ethogram (Table 1). Interobserver reliability was assessed using Cohen's weighted Kappa, and each observer was paired with a standard assessor (Hallgren, 2012). The Kappa coefficient was calculated separately for each behavior. The interobserver reliability for each observer compared with a standard rater was greater than 0.95. Each observer remained with the same group of animals throughout the experiment and observers were positioned to ensure a constant view of the calves' head and snout, without interfering with the animals' natural behavior. Synchronized time was used with the aid of smartphones synchronized with the same local time (GMT-03), and observations were measured with an interval of one minute for all calves in the study. The total time for each calf was summed for each behavior (as described in the ethogram) per hour and then added to the total observed period to assess the agreement of the observed behavior with the BMC data.

The behavioral data of the calves were grouped into two main categories: general activity and idleness. General activity included behaviors such as playing, licking and sucking, rumination, and feeding activity. This categorization was necessary because the BMC did not accurately identify feeding activity and rumination data, that were therefore, grouped into the general activity category. Idleness, on the other hand, refers to periods of inactivity, observed visually.

This categorization was adopted to simplify the analysis and identify broader behavioral patterns. To analyze the data, a correlation matrix was created using the `ggplot2` packages of the R software (version 4.1.3), comparing the visual observations

with the data obtained via BMC. In addition, graphs were generated in Excel [Excel 2016 (v.16.0), Microsoft Corporation, WA, USA] to show the distribution of behaviors over time, according to the age of the calves.

For the statistical analyses, the SAS OnDemand for Academics program was used, using calf as the experimental unit. Descriptive analyses were performed and the normality of all the variables studied was verified using the PROC UNIVARIATE procedure, and the Shapiro-Wilk test was used to formally assess the adequacy of the data to the normal distribution. The association between visual observations (standard) and BMC values was evaluated with correlation analysis (Pearson's correlation coefficient) and linear regression (linear regression coefficient of determination). The results of Pearson's correlation coefficient and coefficient of determination were categorized by Hinkle (1988) (i.e., 0.00 to 0.30 = insignificant; 0.30 to 0.50 = low; 0.50 to 0.70 = moderate; 0.70 to 0.90 = high; and 0.90 to 1.00 = very high). The BMC was considered accurate if it reached the high coefficient. Additionally, the concordance correlation coefficient (ρ_c) was calculated for all behaviors following Lin (1989) and interpreted following McBride (2005) (i.e., < 0.90 = poor; 0.90 to 0.95 = moderate; 0.95 to 0.99 = substantial; > 0.99 = almost perfect).

Linear regressions were used to calculate the coefficient of determination and the slope of the relationship between the BMC measurement and the visual observation data, considering BMC as accurate if the r and r^2 were at least high (> 0.70). Bland-Altman plots evaluated accuracy. Bland-Altman charts (Bland and Altman, 1995) were created for each behavioral assessment in Excel [Excel 2016 (v.16.0), Microsoft Cooperation, WA, USA]. The standard deviation of the difference between the collar and the observed behaviors was calculated from all the 1440 min observations of the calves. The standard deviation (SD) was then used to calculate the lower and upper limits of agreement (LOA)

(\pm bias, $1.96 \times$ SD). The x-axis showed the average behavior observed and recorded in the BMC ($(\text{Visual observation} + \text{BMC})/2$) for each of the 23 calves plotted. The y-axis showed the difference in visual observation according to the BMC (BMC) recorded behavior for each of the 23 calves plotted. The BMC was considered accurate if the slope of the linear regressions did not differ significantly from 1 and if the 95% agreement interval included zero for mean bias of the Bland-Altman plots (Lovatti et al., 2024).

The descriptive data measured by visual observation and BCM are presented in **Table 2**. **Figure 1** presents a correlation matrix that illustrates the relationship between behaviors when evaluated separately, where the correlation was high only for idleness ($r = 0.83$; 95% CI: 0.64 – 0.93; $P < 0.001$). **Figure 2** shows graphs that show the distribution of behaviors over time, according to the age of the calves.

The correlation between visual observations and BMC data was high for general activity, after behaviors as feeding, playing and ruminating were pooled ($r = 0.84$; 95% CI: 0.65 – 0.93; $P < 0.001$) and idleness ($r = 0.83$; CI: 0.64 – 0.93; $P < 0.001$).

The coefficient of determination for the general activity ($r^2 = 0.70$; $P < 0.001$) and idle time ($r^2 = 0.69$; $P < 0.001$) are shown in **Figures 3a** and **3b**, respectively. The slope lines of the linear regression were 0.91 (95% CI: 0.84 – 0.97; $P < 0.001$) and 0.95 (95% CI: 0.92 – 0.98; $P < 0.001$) for general activity and idleness, respectively. As the value = 1 was not included in the confidence interval, slopes of the linear regression for both general activity and idleness were considered as significantly distinct of 1. The correlation coefficient of agreement (ρ_c) was 0.80 and 0.78 for general activity and idleness, respectively.

A Bland-Altman plot was used to evaluate the differences between the BMC and the visual observations for overall activity (**Figure 4a**) and idleness (**Figure 4b**). After performing the analysis of agreement between the two measurement methods by the

Bland-Altman method, two points outside the 95% confidence interval were observed. Based on the analysis, it was decided to keep these points in the results, due to the biological nature of the discrepancies observed. This decision was made to ensure the integrity and validity of the results presented. The results of the mean differences for general activity were -6.68 ± 2.72 min/h; and -3.86 ± 2.75 min/h for idleness. The mean differences, however, included zero within the 95% agreement interval, indicating that there was no difference between BMC and visual observation.

The BMC showed a high correlation between visual observation and BMC for idleness and general activity, when behaviors such as rumination, feeding, licking or sucking and playing were grouped into general activity.

The need to group behaviors into general activity is due to differences in calf ages and their behavioral variability (Babu et al., 2004; Rodrigues et al., 2019). When the BMC was tested to assess other behaviors, such as rumination and non-nutritive oral behaviors, it was observed that the above-mentioned variability in animals's age compromised the algorithm's precision in identifying these behaviors (Guo et al., 2020). In younger animals, such as in group 1 (aged of 20 to 30 days), BMC tended to misinterpret head movements, inflating rumination time probably because some of these behaviors have a short duration and endure subtle head movements, that might be more difficult to detect and distinguish (Gröbbacher et al., 2020; Gladden et al., 2020). These results suggest that by grouping different behaviors, we can achieve a more precise detection of the change in the animals' overall activity, generating more reliable observations about their health status and reducing the variability of measurements due to possible misclassifications performed by the behavioral monitoring device algorithm.

In addition, the independent validation of the algorithm and the discrepancy between the ethogram used in the study and the base ethogram used for the development

of the algorithm might also have contributed to the low precision (Lovatti et al., 2024) in measuring these behaviors separately. The high variability observed in calves highlights the need for adaptive algorithms in the BMC to better account these variations in young animals (Von Keyserlingk et al., 2017), allowing more precise measurement of rumination behaviors and non-nutritive oral behaviors.

BMC was precise in identifying idleness behavior, similarly to other already validated behavioral monitoring technologies, using accelerometers pedometers for herd management (Trénel et al., 2009; Swartz et al., 2016), ear-based accelerometers for herd management (Roland et al., 2018), and pedometer accelerometers for research (Bonk et al., 2013).

Accuracy assessment is essential for warranting reliability of behavior monitoring devices in order to ensure that the measurements recorded by these devices are close to the actual observed values, allowing the comparison of data between different farms (Grinter et al., 2019). Despite advances in validating the accuracy of these devices for lactating cows, reported by Chizzotti et al (2015), Borchers et al. (2016), Grinter et al. (2019) and Lovatti et al. (2024), which highlight the agreement between the device measurements and the actual observations, there are still few studies on calves (De Passillé et al., 2010; Lopreiato et al., 2018; Rodrigues et al., 2019) discussing the accuracy metrics of devices that measure animal behavior.

The BMC has proven to be a valuable tool for measuring general activity and idleness in calves. However, despite allowing the collection of continuous and consistent data at the individual level, there are still challenges regarding its accuracy, as it did not meet the criteria for the slope of the regression line, which may have been influenced by individual variation, differences in behavior and characteristics physical characteristics of animals, such as size, weight and activity patterns (Reynolds et al., 2019), and may

also be influenced by farm management (Banhazi et al., 2022) even so, the devices are capturing significant information that can be useful on the farm as an auxiliary tool in decision making.

A practical implication of this is that even if the devices are not highly accurate, they can still be used to detect changes in animal behaviors. This can be especially useful in assisting in the detection of health problems, such as sick calves, allowing for early intervention (Costa et al., 2021; Toaff-Rosenstein et al., 2016). While no tool is perfect, the discussion of the practical usefulness of on-farm behavioral monitoring devices is important. They can be integrated into the producer's toolkit to assist in detecting changes in animal behavior patterns. At the farm level, these devices appear to work at detecting changes in behavior, as evidenced in previous experiments.

In conclusion, the BMC used in this study was precise in the measurement of general activity and idleness compared to visual observation (gold standard). The need to group behaviors into a broad category (general activity) is due to the behavioral variability associated with the different ages of the calves, which compromises the precision of the device in identifying specific behaviors.

Therefore, it is recommended to use this device in calves aged of 30 days or more. Grouping of behaviors linked to movement of the head into general activity improve the device's precision in detecting changes in the aforementioned behaviors. Despite the limitations in accuracy for specific behaviors, BMC can be a valuable tool for the detection of changes in animal behavior, aiding in decision-making and intervention in health problems, despite the inherent limitations in the accuracy of some behaviors.

NOTES

We thank the team at the Farm where this experiment was carried out, especially Paulo Doering and Vanessa Groenwold. We thank the CowMed team for their support during the execution of this study. We thank my colleague Arthur Fernandes Bettencourt for his support in this work. This project was the result of a partnership between the Federal University of Rio Grande do Sul, CowMed (CowMed, Santa Maria, RS, Brazil), the Pontifical Catholic University of Paraná and the Dairy Science Program at the University of Kentucky. This research was supported by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) during the study period. The authors did not declare any conflicts of interest.

J. F. Aires <https://orcid.org/0000-0001-6981-7586>

J. V. R. Lovatti <https://orcid.org/0000-0003-4734-4137>

L. F. C. Garrido <https://orcid.org/0000-0002-5739-5280>

T. E. da Silva <https://orcid.org/0000-0001-8676-5888>

J. H. C. Costa <https://orcid.org/0000-0001-9311-4741>

R. R. Daros <https://orcid.org/0000-0003-2331-1648>

V. Fischer <https://orcid.org/0000-0002-7670-7454>

References

- Babu, L. K., Pandey, H. N., & Sahoo, A. 2004. Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 87, 177-191. doi: 10.1016/j.applanim.2003.12.005.
- Banhazi, T., Halas, V., & Maroto-Molina, F. (Eds.). 2022. *Practical Precision Livestock Farming: Hands-on experiences with PLF technologies in commercial and R&D settings*. Wageningen Academic Publishers.
- Bland, J. M. and D. G. Altman. 1995a. Calculating correlation coefficients with repeated observations: Part 1--Correlation within subjects. *Br Med J* 310(6977):446-446.
- Bonk, S., Burfeind, O., Suthar, V., Heuwieser, W., 2013. Technical note: evaluation of data loggers for measuring lying behavior in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 96, 3265–3271. doi: 10.3168/jds.2012-6003.
- Borchers, M. R., and J. M. Bewley. 2015. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *J. Dairy Sci.* 98:4198–4205. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>.
- Borchers, M. R., Y. M. Chang, I. C. Tsai, B. A. Wadsworth, and J. M. Bewley. 2016. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *J. Dairy Sci.* 99(9):7458-7466. doi:10.3168/jds.2015-10843.
- Breitenberger, S., Efrosinin, D., Auer, W., Deininger, A., Waßmuth, R., 2015. Change point detection in piecewise stationary time series for farm animal behavior analysis. In: Doerner, K.F., Ljubk, I., Pflug, G., Tragler, G. (Eds.), *Operations Research Proceedings*. Springer, Vienna, pp. 369–375.
- Burfeind, O., Schirmann, K., von Keyserlingk, M.A.G., Veira, D.M., Weary, D.M., Heuwieser, W., 2011. Technical note: evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *J. Dairy Sci.* 94, 426–430. doi: 10.3168/jds.2010-3239.
- Chizzotti, M.L., Machado, F.S., Valente, E.E., Pereira, L.G., Campos, M.M., Tomich, T.R., Coelho, S.G., & Ribas, M.N. (2015). Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98, 3438-3442. doi:10.3168/jds.2014-8925
- Costa, J.H.C., M.C. Cantor, and H.W. Neave. 2021. Symposium review: Precision technologies for dairy calves and management applications. Pages 1203–1219 in *Journal of Dairy Science*. Elsevier Inc.
- De Passillé, A.M., Jensen, M.B., Chapinal, N., Rushen, J., 2010. Technical note: use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 93, 3287–3293. doi: 10.3168/jds.2009-2758

- Edwards, J. P., B. T. Dela Rue, and J. G. Jago. 2015. Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms. *Anim. Prod. Sci.* 55:702–709. <https://doi.org/10.1071/AN14065>.
- Eerdeken, A., Deruyck, M., Fontaine, J., Martens, L., Poorter, E.D., Plets, D., Joseph, W., 2021. A framework for energy-efficient equine activity recognition with leg accelerometers. *Comput. Electron. Agric.* 183, 106020 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106020>.
- Friedman, H. 1982. Simplified Determinations of Statistical Power, Magnitude of Effect and Research Sample Sizes. *Educ Psychol Meas* 42(2):521-526.
- Gladden, N., Cuthbert, E., Ellis, K., & McKeegan, D. 2020. Use of a TriAxial Accelerometer Can Reliably Detect Play Behaviour in Newborn Calves. *Animals*, 10(7), 1137. <https://doi.org/10.3390/ani10071137>
- Größbacher, V., Bučková, K., Lawrence, A. B., Špinka, M., & Winckler, C. 2020. Discriminating spontaneous locomotor play of dairy calves using accelerometers. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1866–1873. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17005>.
- Grinter, L.N., M.R. Campler, and J.H.C. Costa. 2019. Technical note: Validation of a behavior-monitoring collar's precision and accuracy to measure rumination, feeding, and resting time of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 102:3487–3494. doi:10.3168/jds.2018-15563.
- Guo, Y., He, D., & Chai, L. 2020. A Machine Vision-Based Method for Monitoring Scene-Interactive Behaviors of Dairy Calf. *Animals*, 10(2), 190. <https://doi.org/10.3390/ani10020190>
- Halachmi, I., and M. Guarino. 2016. Editorial: Precision livestock farming: A ‘per animal’ approach using advanced monitoring technologies. *Animal* 10:1482–1483. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001142>.
- Hallgren, K.A. 2012. Computing Inter-Rater Reliability for Observational Data: An Overview and Tutorial.
- Hinkle, D. E. 1988. *Applied statistics for the behavioral sciences*. 2nd ed. Boston: Houghton Mifflin, Boston.
- Lin, L.I.-K. 1989. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility.
- Lopreato V, Minuti A, Piccioli Cappelli F, Vailati-Riboni M, Britti D, Trevisi E., Morittu V.M. 2018. Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. *Livestock Science*, 212, p. 127-130, 1871-1413. doi: 10.1016/j.livsci.2018.04.010.

- Lovatti, J. V. R., Dijkstra, K. A., Aires, J. F., Garrido, L. F. C., Costa, J. H. C., & Daros, R. R. 2024. Validation and inter-device reliability of a behavior monitoring collar to measure rumination, feeding activity, and idle time of lactating dairy cows. *JDS Communications*. doi: doi.org/10.3168/jdsc.2023 0467
- McBride, G. B. 2005. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report: HAM2005-062.
- Ollhoff RD, Rogalsky AD, Grebogi AM, Almeida R De, Ostrensky A and Souza FP de 2008. Causas De Descarte E Óbito De Bovinos Leiteiros Entre 2000-2006 Em Um Rebanho De Alta Produção. *Revista Acadêmica: Ciência Animal* 6, 381-387. doi: https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v6i3.10616.
- Reynolds, M. A., M. R. Borchers, J. A. Davidson, C. M. Bradley, and J. M. Bewley. 2019. Technical note: An evaluation of technology-recorded rumination and feeding behaviors in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 102:6555-6558. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15635.
- Rodrigues, J. P. P.; Pereira, L. G. R.; Neto, H. D. C. D.; Lombardi. M. C.; Lage. C. F. A.; Coelho. S. G.; Sacramento. J. P.; Machado F. S.; Tomich. T. R.; Mauricio. R. M.; Campos. M. M. Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves. *Livestock Science*, v. 219, s. n., p. 86-90, 2019. doi: 10.1016/j.livsci.2018.11.017.
- Roland, L., V. Schweinzer, P. Kanz, G. Sattlecker, F. Kicking, L. Lidauer, A. Berger, W. Auer, J. Mayer, V. Sturm, D. Efrosinin, S. Breitenberger, M. Drillich, and M. Iwersen. 2018b. Technical note: Evaluation of a triaxial accelerometer for monitoring selected behaviors in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 101:10421-10427. https:// doi.org/10.3168/jds.2018-14720.
- Rushen, J., R. Wright, J. F. Johnsen, C. M. Mejdell, and A. M. de Passillé. 2016. Reduced locomotor play behavior of dairy calves following separation from the mother reflects their response to reduced energy intake. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 177:6-11. https:// doi.org/10.1016/j.applanim.2016.01.023.
- Stangaferro, M. L., R. Wijma, L. Caixeta, M. Al-Abri, and J. Giordano. 2016. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *J. Dairy Sci.* 99:7395-7410. https:// doi.org/10.3168/jds.2016-10907.
- Swartz, T., McGilliard, M., Petersson-Wolfe, C., 2016. Technical note: the use of an accelerometer for measuring step activity and lying behaviors in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 99, 1-5.
- Trénel, P., M. B. Jensen, E. L. Decker, and F. Skjøth. 2009. Technical note: Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *J. Dairy Sci.* 92:3397-3401. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2040.
- Ventura BA, Von Keyserlingk MAG, Wittman H and Weary DM 2016. What difference does a visit make? Changes in animal welfare perceptions after interested citizens

tour a dairy farm. PLoS ONE 11, 1–18. doi:
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154733>.

Von Keyserlingk, M. A., & Weary, D. M. 2017. A 100-year review: Animal welfare in the Journal of Dairy Science—The first 100 years. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10432-10444. Doi: 10.3168/jds.2017-13298

Xiao, J. X., Peng, R., Yang, H., Alugongo, G. M., Zhang, S. Y., Liu, S., ... & Cao, Z. J. 2022. Estimating the optimal number of sampling days and patterns for recording calf behaviours in pre-weaning dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 254, 105724. Doi: 0.1016/j.applanim.2022.105724

Vieira A.C., Fischer V., Canozzi M.E.A., Garcia L.S., Morales-Piñeyrúa J.T. 2021 Motivations and attitudes of Brazilian dairy farmers regarding the use of automated behaviour recording and analysis systems. *J. Dairy Res.*, 88, 270-273. doi:10.1017/S0022029921000662

Table 1. Behavior classification ethogram for visual observations taken every minute.

Behavior	Classification
Ruminating	Regurgitation and rechewing of feed with a rhythmic movement of the jaw.
Idleness	Includes lying and standing postures. A lying event was defined as any time when the calf was lying with all four members on the floor. The standing characterization was categorized by the calves standing, with all four hooves on the ground.
Feeding activity	Calf with the muzzle in contact with feed, including ingesting water, smelling, and chewing.
Licking or sucking	The calf is licking or sucking objects (e.g., ceiling, fence), the body of other calves or their own body (redirected behavior)
Play	Social interaction with other animals, jump and vocalization.

Table 2. Mean (\pm standard-deviation; SD), minimum and maximum time of general activity and idleness as recorded by visual observations and by the behavior monitoring collar (BMC) in dairy calves.

Behavior (min/h)	Visual observation			BMC		
	Mean \pm SD	Minimum	Maximum	Mean \pm SD	Minimum	Maximum
General activity	15.36 \pm 4.53	7.54	24.13	16.71 \pm 4.94	8.75	27.46
Idling	44.82 \pm 4.33	35.88	52.46	43.29 \pm 4.94	32.54	51.25

Figure 1

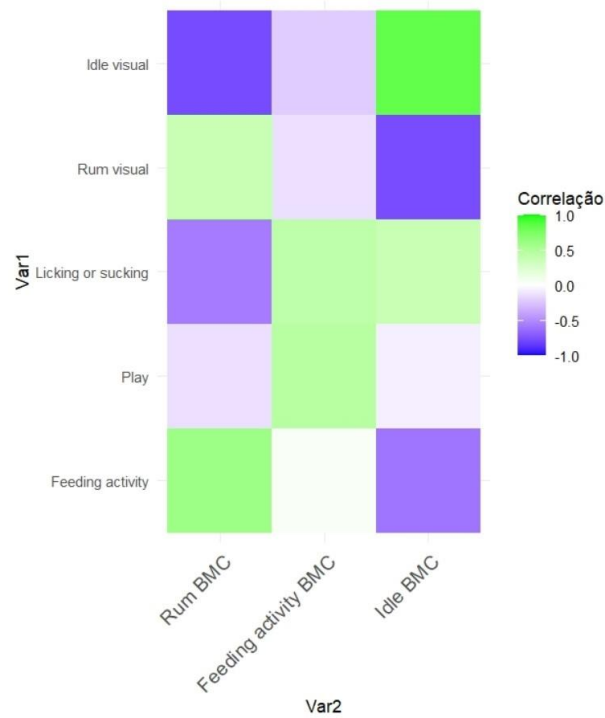


Figure 1. Correlation map between visually observed behaviors and behaviors measured by the behavioral monitoring collar (BMC) in calves. Colors range from blue (-1) to green (1), indicating the strength and direction of the correlation. Behaviors included are visual idle visual, visual rumination (Rum visual), visual licking or sucking, visual play, visual feeding activity, BMC rumination (Rum BMC), BMC feeding activity, and BMC Idle.

Figure 2

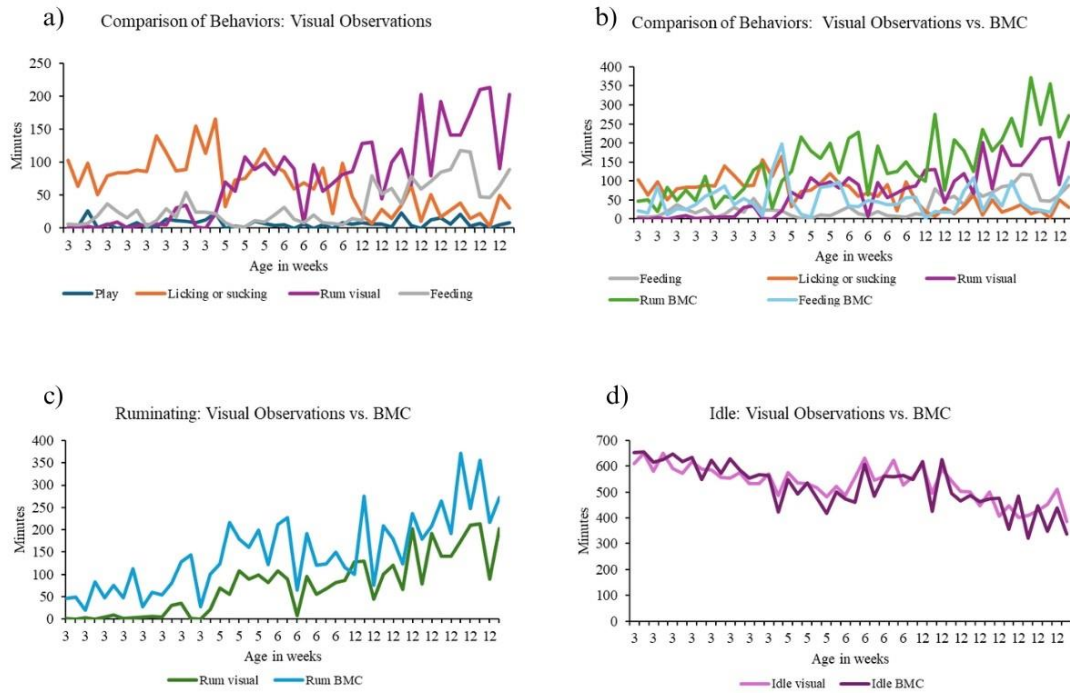


Figure 2. Comparison of calf behaviors over time, observed visually and measured by the behavioral monitoring collar (BMC). The graphs show (a) comparison of different behaviors observed visually, (b) comparison of behaviors observed visually and measured by BMC, (c) rumination observed visually versus rumination measured by BMC, and (d) inactivity observed visually versus inactivity measured by BMC. Measurements are presented in minutes over the weeks of age of the calves.

Figure 3a

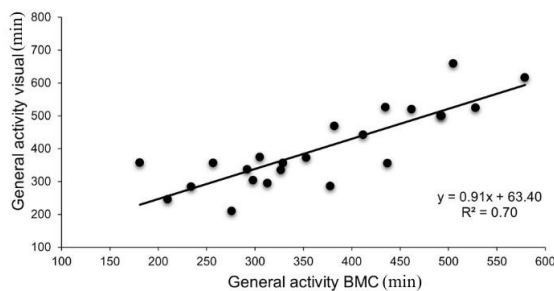


Figure 3b

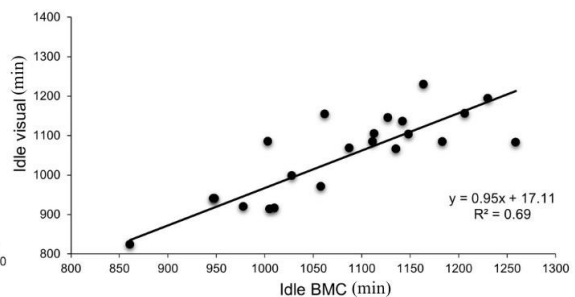


Figure 3. Simple linear regression of general activity (a) and idle (b), comparing the behavior BMC (x-axis) with visual observations (y-axis). The data points represent the total minutes that each calf spent performing the corresponding behavior during the 1440-minute observation.

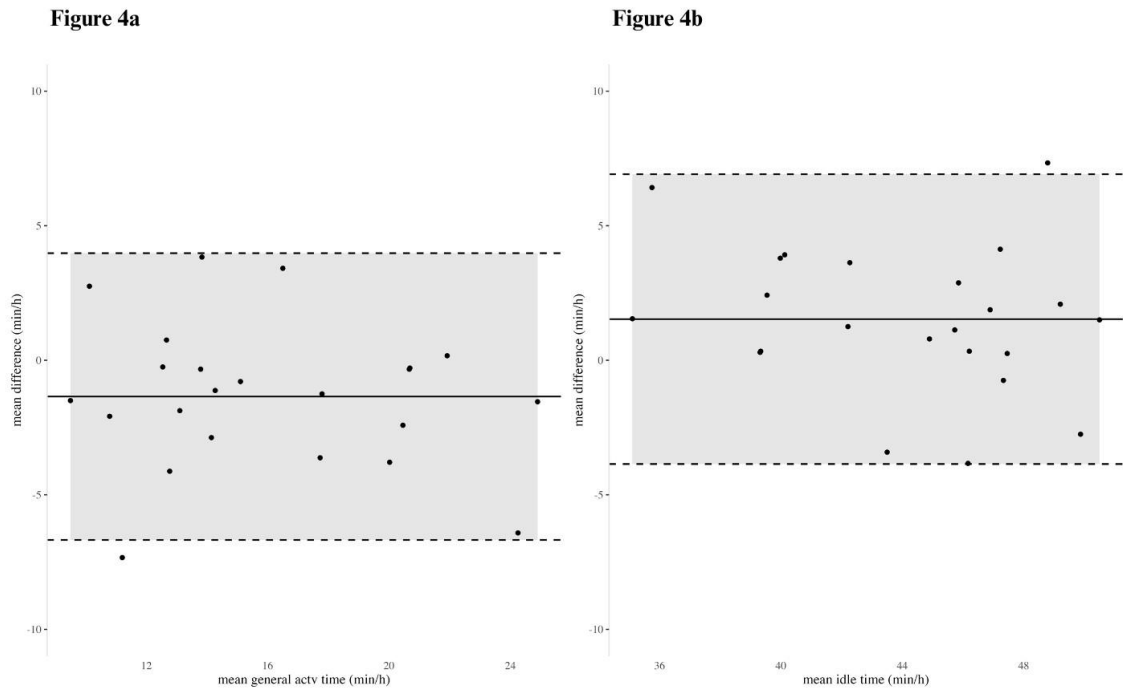


Figure 4. Bland-Altman graph illustrating the agreement between the BMC and visual observations for general activity (a) and idle (b). For all charts: *the x-axis* is the average of the BMC and visual observation; and *the y-axis* is the difference between the recorded behavior of the BMC and the visual observation. Each data point in the chart is the result of each calf's agreement for the corresponding behavior. The solid line indicates the mean difference between the measures and the dotted lines represent the standard deviation from the mean difference.

CAPÍTULO III

Avaliação do desempenho de um sistema de monitoramento do comportamento para identificação precoce de doenças em bezerros em uma fazenda comercial

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação do **Journal of Veterinary Behavior**.

Avaliação do desempenho de um sistema de monitoramento do comportamento para identificação precoce de doenças em bezerros em uma fazenda comercial

Júlia Fernandes Aires^{1*}, Tadeu Eder da Silva², João Henrique Cardoso Costa², Vivian Fischer¹

¹ Animal Science Department, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 91540-000, Rio Grande do Sul, Brazil.

² Department of Animal and Veterinary Sciences, The University of Vermont, Burlington, Vermont, 05405.

*Corresponding author: Júlia Fernandes Aires; email: ju.aires@hotmail.com

RESUMO

As tecnologias agem como um complemento dos olhos e ouvidos do agricultor, contribuindo para o manejo individualizado dos animais. O monitoramento contínuo do comportamento animal, por meio de sensores, tem o potencial de ser utilizado para decisões de manejo da saúde do rebanho e para avaliar o bem-estar animal, permitindo o diagnóstico precoce de uma série de doenças. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema comercial de monitoramento na detecção precoce de doenças em bezerras leiteiras. O experimento foi conduzido em uma fazenda comercial, com elevada prevalência de anaplasmose, em São Paulo, Brasil, entre setembro e dezembro de 2023. Foram selecionadas 100 bezerras holandesas com idades entre 70 e 170 dias. As bezerras foram equipadas com colares de monitoramento BMC (Colar/Bezerra-CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR), sete dias antes do início do estudo, para fins de adaptação. Os dados de atividade foram coletados e processados utilizando o software CowMed. Ao longo do estudo, foram registrados 88 alertas, dos quais 56 corresponderam a animais diagnosticados com tristeza parasitária bovina e um caso de pneumonia, enquanto 13 foram considerados falsos positivos (sem diagnóstico de doenças). A análise estatística revelou uma sensibilidade de 90% e uma especificidade de 65% para detecção precoce de doenças para o sistema de monitoramento. A acurácia do sistema foi calculada em 81%. Os resultados indicam que o BMC apresenta uma capacidade robusta de identificar corretamente os casos positivos para doença com uma alta sensibilidade. No entanto, sua especificidade foi comprometida, sugerindo uma tendência a gerar alertas falsos positivos. Apesar disso, o sistema demonstrou ser uma ferramenta promissora para detecção precoce de doença, e no gerenciamento diário das fazendas, contribuindo para o bem-estar animal e a eficiência do manejo da saúde do rebanho.

Palavras-chave: Coleira de monitoramento, Detecção de doenças, *Anaplasmosse marginale*, Algoritmos

Introdução

O monitoramento visual do comportamento animal é uma tarefa subjetiva que demanda uma quantidade significativa de tempo (Eerdeken et al., 2021). Por outro lado, as tecnologias de pecuária de precisão oferecem uma abordagem não invasiva e objetiva para a medição do comportamento animal, utilizando algoritmos para processar dados brutos (Costa et al., 2021). Essas tecnologias são capazes de detectar continuamente mudanças comportamentais em tempo real (Borchers et al., 2016). A validade dessas tecnologias é estabelecida quando demonstram precisão e exatidão satisfatórias em comparação com um padrão de referência (Royston e Altman, 2013).

As tecnologias agem como um complemento dos olhos e ouvidos do agricultor, contribuindo para o manejo individualizado dos animais. O monitoramento contínuo do comportamento animal, por meio de sensores, tem o potencial de ser utilizado para decisões de manejo da saúde do rebanho (Reiter et al., 2018) e para avaliar o bem-estar animal (Jaeger et al., 2019), permitindo o diagnóstico precoce de uma série de doenças, tais como cetose (Sturm et al., 2020), metrite (Cocco et al., 2021), hipocalcemia (Goff et al., 2020), claudicação (Alsaad et al., 2019), diarreia (Belaid et al., 2020), doenças respiratórias (Timsit et al., 2020; Swartz et al., 2017) e anaplasmose (Teixeira et al., 2022)

Para avaliar a saúde e bem-estar animal, essas tecnologias devem passar por avaliações de classificação binária, comparando os eventos monitorados com um padrão de referência ou com ocorrências reais. Nesse processo, os alertas gerados pelos sensores são contrastados com a ocorrência do evento de interesse, frequentemente baseado em observações visuais tratadas como padrão ouro (Hogeveen et al., 2010). A avaliação do desempenho desses sistemas envolve a análise de verdadeiros positivos, falsos negativos, falsos positivos e verdadeiros negativos, conforme definido por Hogeveen et al. (2010).

Um desafio significativo enfrentado no campo da produção leiteira é a escassez de pesquisas que avaliem os parâmetros de desempenho em sistemas de monitoramento, direcionados especificamente para bezerros em fazendas comerciais. No entanto, a maioria dos estudos sobre tecnologias de monitoramento de gado leiteiro se concentra em vacas adultas, deixando uma lacuna na compreensão, de como essas tecnologias podem ser adaptadas e otimizadas para atender às necessidades específicas dos bezerros.

Durante o aleitamento, os bezerros são vistoriados pelo menos duas vezes por dia, no caso de aleitamento manual ou podem ser monitorados pelos equipamentos de aleitamento automático, permitindo quantificar o número de visitas ao aleitador e a quantidade consumida (Jensen et al. 2004). Entretanto, bezerras em aleitamento manual e após o desaleitamento podem não ser avaliadas, ainda que se encontrem suscetíveis a doenças, podendo levar à elevada morbidade e mortalidade.

O presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de monitoramento na identificação precoce de doenças em bezerros em aleitamento e logo após o desaleitamento.

Material e métodos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (protocolo número 42.124). Os dados foram obtidos de uma fazenda comercial localizada em São Paulo, Brasil, entre setembro e dezembro de 2023. Esta fazenda já estava utilizando colares de monitoramento para suas vacas (CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR). Ao expressar interesse em estender o monitoramento para as bezerras, a fazenda foi selecionada para participar deste estudo.

Bezerras, manejo e alojamento

A fazenda possui cerca de 1500 vacas da raça holandesa em lactação, com uma média diária de produção de aproximadamente 30 litros de leite. Além disso, havia 200 bezerras no local. Para o estudo, foi selecionado um grupo de 100 bezerras holandesas, com peso médio de 80 kg \pm 30 kg (média \pm DP) e idades entre 70 e 170 dias, abrangendo as fases de pré-desaleitamento e pós desaleitamento. O critério de seleção desses animais foi determinado pela fazenda, que escolheu os lotes com maior desafio para doenças como tristeza parasitária bovina (anaplasmosse e babesiose). De acordo com a fazenda, a incidência dessa doença é de 25%. Os animais mais suscetíveis estão na faixa etária entre 90 a 180 dias de idade. Em 2023, a fazenda registrou mais de 800 casos da doença, o que representa um problema significativo.

O manejo inicial das bezerras foi realizado pela equipe da fazenda, seguindo um protocolo de práticas de colostragem. O colostro foi administrado nas primeiras duas

horas após o parto, em volume correspondente a 10% do peso corporal de cada animal, seguido por 5% do peso corporal até completarem 6 horas de vida (Godden, 2019). Após 48 horas da primeira alimentação, foi coletada uma amostra de sangue da veia jugular, cujo soro foi analisado usando um refratômetro de Brix para avaliar a eficiência da transferência de imunidade passiva. Essa eficiência foi considerada boa se atingisse valores $\geq 8,9\%$ de Brix (Lombard et al., 2020).

O manejo para detecção de doenças, estabelecido previamente pela fazenda para esses animais nessas fases de desenvolvimento, consistiu de inspeção visual dos animais e mensuração da temperatura corporal, e foi executado duas vezes por semana, segunda e quinta-feira.

As bezerras foram alojadas em piquetes coletivos ao ar livre com aproximadamente 120 m², abrigo com telhado de zinco e cama de areia, com mínimo de 12 animais por baia. A alimentação foi fornecida em aleitadores automáticos da marca GEA (GEA Dairy Feed F4650; GEA Group Aktiengesellschaft, Düsseldorf, Alemanha), com uma oferta de 8 litros de leite pasteurizado ao longo do dia ($4,4 \pm 1,0\%$ de gordura e $3,1 \pm 0,1\%$ de PB). Uma mistura de 95% de concentrado (22% PB e 80% FDN) e 5% de feno de Tifton (8,5% PB e 69,9% FDN) foi fornecida *ad libitum* até os 90 dias de idade. Após atingirem 70 dias de idade, foi iniciado o protocolo de desaleitamento, realizado de forma gradual, reduzindo a oferta de leite pela metade e, posteriormente, diminuindo um litro a cada semana. Aos 90 dias de idade, os animais foram desaleitados, e transferidos para outro sistema de criação, o *compost barn*, onde permaneciam até os 190 dias de vida. Nesse segundo período, eles foram alimentados com uma dieta totalmente misturada (TMR), composta por 18% de proteína bruta (PB) e 80% de fibra detergente neutro (FDN), que incluiu silagem de milho, milho moído e farelo de soja. A TMR foi fornecida duas vezes ao dia, às 8h e às 15h, em comedouros coletivos, e a água era oferecida *ad libitum*.

As bezerras foram equipadas com um BMC (Coleira/Bezerra-CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR) sete dias antes do início do estudo, para permitir uma adaptação adequada. O BMC é composto por um dispositivo ($11,5 \times 7 \times 3,3$ cm; 140g) e uma faixa de náilon (120g), fixados no pescoço das bezerras. O dispositivo foi posicionado longitudinalmente no centro do lado esquerdo do pescoço. A expectativa de vida das baterias do BMC é de até 5 anos. Os dados do BMC foram transmitidos sem fio a cada hora para uma estação base conectada à internet, colocada

dentro das baias. A estação base do celeiro podia armazenar dados por até 24 horas. O BMC utiliza um mecanismo de pré-processamento de dados onde os dados são registrados por minuto, mas codificados em períodos de 1 hora, ou seja, a nuvem recebia os dados em minutos por hora para cada comportamento (atividade geral e ócio), esses comportamentos foram validados no primeiro estudo (Aires et al., 2024 – dados não publicados).

Processamento dos dados e análise estatística

Os dados comportamentais foram registrados diariamente no software e armazenados na nuvem. Quando os animais apresentavam uma redução de pelo menos 30% na atividade em comparação com as últimas 48 horas (segundo informações do fabricante, CowMed), um alerta era emitido, indicando alteração do seu comportamento, podendo ser um indicativo de saúde. Esses alertas eram analisados duas vezes ao dia, às 7h e às 17h, e os animais identificados eram encaminhados para a equipe de veterinários da fazenda para avaliação.

Ao receber o alerta, a equipe veterinária realizava a aferição da temperatura corporal da bezerra. Temperatura igual ou superior a 39,4°C era considerada indicativo de febre. Nesses casos, era coletada uma amostra de sangue para análise laboratorial, por microscopia para identificar a presença de agentes patogênicos (Aubry and Geale, 2011), e assim concluir o diagnóstico para tristeza parasitária bovina. Esse processo era realizado pela própria equipe de veterinários, no laboratório localizado na fazenda. Caso o diagnóstico fosse positivo, o animal era incluído no protocolo de tratamento estabelecido pela fazenda. Por outro lado, se o diagnóstico fosse negativo e o animal continuasse a apresentar sinais de alerta pelo sistema, ele era monitorado por mais dois dias, tanto em relação ao alerta quanto à investigação da fazenda.

Todo o processo de manipulação de dados e visualização foi realizado utilizando o software R Studio (versão 4.3.3) e os pacotes dplyr e ggplot2. O conjunto de dados, composto por informações de 100 animais e seus alertas, e foi organizado inicialmente, selecionando os registros de comportamento correspondentes aos 5 dias antes e aos 5 dias após o alerta, considerando o dia do alerta como dia 0.

Para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento, os alertas emitidos foram comparados com a ocorrência real de um evento, diagnóstico positivo para tristeza parasitária bovina (padrão ouro). Os resultados foram categorizados da seguinte maneira: verdadeiros positivos (VP), falsos negativos (FN), falsos positivos (FP) e verdadeiros

negativos (VN), ou seja, número de observações em que o evento ocorre e o BMC emite um alerta (animal doente, VP), número de observações em que o evento ocorre, mas o BMC não emite um alerta (animal doente, FN), número de observações em que o evento não ocorre, mas o BMC emite um alerta (animal normal, FP), número de observações em que o evento não ocorre e o BMC não emite um alerta (animal normal, VN) (Hogoveen, et al., 2010).

Para avaliar o desempenho do BMC na detecção precoce de doença (anaplasmoses) em bezerras, utilizamos a função `confusion Matrix()` do pacote `caret` do R (versão 4.3.3). Essa função é amplamente reconhecida por sua capacidade de calcular a matriz de confusão e fornecer métricas de desempenho essenciais, incluindo acurácia, sensibilidade, especificidade, precisão (James et al., 2013). A sensibilidade se refere à capacidade do BMC em identificar corretamente o evento de interesse, como um animal doente, resultando em um alerta. Por outro lado, a especificidade diz respeito à capacidade do teste de distinguir corretamente quando o evento de interesse não está presente, como um animal sem doença, resultando em não alertar. Estipulou-se que a adequação do BMC seria alcançada quando a sensibilidade e a especificidade atingissem um valor mínimo de 80% (Hogoveen, et al., 2010).

Resultados

Em relação às 100 bezerras selecionadas, foram gerados 88 alertas. Destes, 56 corresponderam a animais diagnosticados com doenças, incluindo tristeza parasitária bovina e um caso de pneumonia, identificados como verdadeiros positivos (VP). Os outros 32 alertas foram para animais sem diagnóstico de doença. Dentro desses 32 alertas: 11 eram de animais em um lote que sofreu um atraso de 4 horas na alimentação; 8 eram de animais que apresentaram febre, mas sem diagnóstico de doença. Assim, consideramos 13 desses 32 alertas como falsos positivos (FP), ou seja, não relacionados a nenhuma doença. Além disso, 6 animais diagnosticados com doença (tristeza parasitária) pela fazenda não foram identificados pelo sistema, sendo considerados falsos negativos (FN).

Não conseguimos identificar os verdadeiros negativos (VN), pois mesmo 25 animais não aparecendo na lista de alertas, não recebemos feedback da fazenda sobre a saúde desses animais os quais não foram identificados pelo sistema.

Em relação às idades dos animais, 89% dos alertas com diagnósticos foram em animais com mais de 90 dias, que já estavam na fase pós-desaleitamento.

Os dados descritivos dos animais com alerta e sem doença, alerta com doença, sem alerta e com doença são apresentados na Tabela 1. As métricas de desempenho da matriz de confusão foram detalhadas na Tabela 2. Os resultados da avaliação do desempenho do sistema de monitoramento para detecção de doenças em bezerras estão apresentados na Figura 1. O sistema demonstrou uma acurácia de 0,81 (IC 95%: 0,71 – 0,90), indicando que aproximadamente 81% das predições foram corretas, e uma precisão de 0,76, ou seja, 76% dos casos identificados como positivos pelo sistema foram verdadeiros positivos.

A sensibilidade do sistema alcançou 90%, evidenciando sua capacidade de detectar de forma precisa os casos positivos para doença. No entanto, sua especificidade foi de 65%, o que sugere uma menor eficácia em evitar alertas falsos positivos em situações em que a condição de alerta foi desencadeada por outras adversidades, e não pela presença de doença.

As representações gráficas (Figura 2) oferecem uma visão detalhada das variações na atividade geral e no comportamento de ócio ao longo do tempo, para cada bezerro individualmente. Observa-se que houve uma redução da atividade em 13% e um aumento no tempo de ócio em 12% quando os bezerros estavam doentes ou com febre.

A Figura 3 apresenta uma comparação visual da distribuição da atividade e do tempo de descanso entre os grupos de animais diagnosticados como positivos e negativos para doença, além dos animais que apresentam sintomas de febre. Em média, a partir do segundo dia antes do diagnóstico (d-2), os animais começam a mostrar mudanças em seu comportamento. Os animais diagnosticados com a doença mostram as maiores alterações. Aqueles com febre (representados em verde) exibem comportamentos intermediários, com variações na atividade geral e no tempo de descanso, mas essas variações não são tão extremas quanto as observadas nos animais doentes.

Discussão

O presente estudo foi desenhado para avaliar o desempenho e a viabilidade do uso de um sistema comercial de monitoramento automático do comportamento (CowMed) na detecção precoce de doenças em bezerros leiteiros durante o aleitamento e após o desaleitamento. Utilizando avaliações clínicas baseadas no protocolo da fazenda, que incluíam duas aferições semanais da temperatura corporal, evidenciamos que os dados de atividade geral e ócio podem ser usados para a detecção precoce de doenças em bezerros. O sistema de monitoramento mostrou-se uma ferramenta eficaz na triagem de animais com risco de necessitar cuidados e tratamento.

Nosso estudo é o primeiro a medir a atividade geral e o ócio em bezerros leiteiros para detectar precocemente doenças em uma fazenda comercial, utilizando coleiras de monitoramento do comportamento. A fazenda selecionada é uma unidade de produção comercial de leite e apresenta elevada incidência de tristeza parasitária bovina, uma doença com taxa de mortalidade de até 3,6% em bezerros na fase de desaleitamento (Zabel e Agosto, 2018). Essa doença é especialmente prevalente em climas tropicais, causando perdas anuais significativas (Kocan et al., 2003) e é uma das mais comuns nos rebanhos brasileiros (Teixeira et al., 2022). Devido a essa alta incidência, a fazenda manteve sua metodologia rotineira de detecção de doenças, que inclui a medição da temperatura corporal dos bezerros duas vezes por semana e a realização de esfregaços quando a temperatura ultrapassa 39,4 °C (Souza et al., 2021).

Os dados de atividade geral e ócio obtidos pelas coleiras de monitoramento auxiliaram a predição precoce de doenças, especialmente da tristeza parasitária bovina. A menor atividade dos animais está associada à temperatura retal mais elevada e riquetsemia (Teixeira et al., 2022). Evidenciamos que os animais alteraram seu comportamento com uma média observada de até 2 dias antes dos sinais clínicos da doença. Alguns estudos que utilizaram o monitoramento comportamental em ambiente de pesquisa encontraram predições semelhantes. Teixeira et al. (2022) inocularam *A. maginale* em bezerras pré-desaleitadas, e detectaram mudanças comportamentais 1 a 3 dias antes dos sinais clínicos da anaplasiose induzida. De forma semelhante, bezerros aumentaram a duração dos episódios de ócio nos 3 dias antes ao diagnóstico de diarreia grave causada por *Salmonella* (Lowe et al., 2019).

O sistema de monitoramento avaliado no presente estudo se mostrou promissor na detecção da precoce de doenças em bezerras leiteiras, podendo se constituir em uma ferramenta importante para o gerenciamento diário das fazendas, pois o cuidado com a saúde e o desenvolvimento das bezerras é crucial para a lucratividade da cadeia leiteira, uma vez que esses animais representam o futuro do rebanho (Fruscalso et al., 2017). Além disso, é crucial considerar que a pesquisa foi conduzida em uma fazenda comercial, onde uma variedade de adversidades pode afetar o comportamento dos animais, como por exemplo, o manejo e equipe da fazenda. Em comparação com outros estudos realizados em ambiente de pesquisa, a precisão e a acurácia observadas podem ser consideradas relativamente baixas (Lowe et al., 2019; Teixeira et al., 2022), mas ainda sim elas representam uma contribuição significativa para a identificação de problemas de saúde animal, identificando os casos verdadeiros positivos.

Quanto à sensibilidade do BMC, podemos destacar que o sistema apresenta capacidade em identificar corretamente os casos positivos para doenças entre as bezerras monitoradas. Para ser aplicada na área de pecuária de precisão, a sensibilidade precisa ser elevada, atingindo pelo menos 80% (Hogveen, 2010), o suficiente para proporcionar benefícios adicionais em comparação com a avaliação visual (Eckelkamp & Bewley, 2020). Essa alta sensibilidade é fundamental para garantir que um maior número de casos verdadeiros seja identificado, contribuindo assim para a promoção do bem-estar animal e a eficiência do manejo da saúde do rebanho.

O sistema não alcançou uma alta especificidade, o que é esperado, pois as mudanças comportamentais não permitem identificar uma doença específica, e outros fatores podem reduzir a atividade geral e/ou aumentar o ócio, como estresse devido a mudanças no manejo ou restrição alimentar (Krachun et al., 2010), estresse térmico (Dado-Senn et al., 2023) e até interações sociais entre os animais podem afetar seu comportamento (Duve et al., 2012). A especificidade é uma medida crucial na avaliação de sistemas de monitoramento de saúde animal e desempenha um papel significativo no engajamento dos agricultores com tecnologias pecuárias de precisão (Eckelkamp & Bewley, 2020).

O sistema de monitoramento comportamental avaliado neste estudo pode representar uma alternativa viável para aprimorar o manejo nas fazendas, identificando precocemente bezerras que necessitam de cuidados. Uma das limitações reportadas é a verificação dos animais pelos produtores. O estudo de Hogeveen et al. (2013) sobre

sistemas de ordenha automatizados fornece um exemplo relevante, revelando que, dos 421 alertas de mastite gerados pelo sistema, apenas 3% foram verificados pelos produtores, embora 40% correspondessem a eventos reais de mastite. Esses resultados destacam os desafios enfrentados pelos produtores ao lidar com os alertas gerados por sistemas automatizados de monitoramento.

No geral, essas mudanças comportamentais podem, de maneira paradoxal, oferecer uma avaliação mais precisa do estado de bem-estar dos animais de produção (Halachmi e Guarino, 2016). Compreender essas nuances no comportamento animal não apenas pode melhorar o sistema de produção e o manejo geral dos animais, mas também pode servir como uma ferramenta na detecção precoce de doenças. Por exemplo, os sistemas automatizados de alimentação de bezerros registram automaticamente os comportamentos alimentares diários de bezerros individuais, sendo que desvios desses padrões podem indicar doenças. Além disso, o uso combinado de acelerômetros e alimentadores automáticos pode identificar de forma eficaz e eficiente bezerros potencialmente doentes mais precocemente do que pela inspeção visual isoladamente (Costa et al., 2021). Essas abordagens inovadoras representam avanços significativos na gestão da saúde animal e na melhoria do desempenho do rebanho.

Conclusões

O BMC mostrou um desempenho promissor na detecção precoce de doenças em bezerras leiteiras, e pode ser utilizado como ferramenta para o manejo do rebanho, porém precisa de aprimoramento para reduzir alertas falsos positivos. Estudos futuros em diversas condições de criação são necessários para validar seu desempenho. O BMC oferece benefícios para o gerenciamento das fazendas, contribuindo para o bem-estar animal e eficiência no manejo da saúde do rebanho. O contínuo desenvolvimento dessas tecnologias é essencial para garantir sua eficácia em diferentes contextos pecuários.

Referências

- Alsaad, M., M. Fadul, and A. Steiner. 2019. Automatic lameness detection in cattle. *Vet. J.* 246: 35-44. doi:10.1016/j.tvjl.2019.01.005.
- Aubry, P., and D.W. Geale. 2011. A review of Bovine anaplasmosis. *Transbound. Emerg. Dis.* 58:1-30. doi:10.1111/j.1865-1682.2010.01173.x.

- Belaid, M.A., M. Rodríguez-Prado, D. V. Rodríguez-Prado, E. Chevaux, and S. Calsamiglia. 2020. Using behavior as an early predictor of sickness in veal calves. *J. Dairy Sci.* 103: 1874-1883. doi:10.3168/jds.2019-16887.
- Borchers, M. R., Y. M. Chang, I. C. Tsai, B. A. Wadsworth, and J. M. Bewley. 2016. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *J. Dairy Sci.* 99:7458– 7466. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10843>.
- Cocco R, Canozzi MEA, Fischer V. Rumination time as an early predictor of metritis and subclinical ketosis in dairy cows at the beginning of lactation: Systematic review-meta-analysis. 2021. *Prev Vet Med.* doi: 10.1016/j.prevetmed.2021.105309.
- Costa, J.H.C., M.C. Cantor, and H.W. Neave. 2021. Symposium review: Precision technologies for dairy calves and management applications. Pages 1203–1219 in *Journal of Dairy Science*. Elsevier Inc. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17885>.
- Dado-Senn, B., Ouellet, V., Lantigua, V., Van Os, J., & Laporta, J. (2023). Methods for detecting heat stress in hutch-housed dairy calves in a continental climate. *Journal of Dairy Science*, *106*(2), 1039-1050.
- Eerdeken, A., Deruyck, M., Fontaine, J., Martens, L., Poorter, E.D., Plets, D., Joseph, W., 2021. A framework for energy-efficient equine activity recognition with leg accelerometers. *Comput. Electron. Agric.* 183, 106020 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106020>.
- Fan, B.; Bryant, R.; Greer, A. 2022. Behavioral Fingerprinting: Acceleration Sensors for Identifying Changes in Livestock Health. *J*, 5, 435-454. doi:10.3390/j5040030.
- Fruscalso, V., Antillón, G.O., Hötzel, M.J., 2017. Smallholder family farmers' perceptions, attitudes and choices regarding husbandry practices that influence performance and welfare of lactating dairy calves. *Ciência Rural* 47, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170184>
- Godden, S.M., Lombard, J.E., Woolums, A.R., 2019. Colostrum Management for Dairy Calves. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 35, 535–556. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005>
- Goff, J.P., A. Hohman, and L.L. Timms. 2020. Effect of subclinical and clinical hypocalcemia and dietary cation-anion difference on rumination activity in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103:2591-2601. doi:10.3168/jds.2019-17581.
- Größbacher, V., Bučková, K., Lawrence, A. B., Špinko, M., & Winckler, C. (2020). Discriminating spontaneous locomotor play of dairy calves using accelerometers. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1866–1873. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17005>.

- Halachmi, I., and M. Guarino. 2016. Editorial: Precision livestock farming: A ‘per animal’ approach using advanced monitoring technologies. *Animal* 10:1482–1483. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001142>.
- Hogeveen, H., C. Kamphuis, W. Steeneveld, and H. Mollenhorst. 2010. Sensors and clinical mastitis—the quest for the perfect alert. *Sensors* 10(9):7991-8009.
- Jaeger, M., K. Brügemann, H. Brandt, and S. König. 2019. Associations between precision sensor data with productivity, health and welfare indicator traits in native black and white dual-purpose cattle under grazing conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 212:9-18. doi: 10.1016/j.applanim.2019.01.008.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. 2013. *An Introduction to Statistical Learning* (Vol. 103). Springer New York. doi:10.1007/978-1-4614-7138-7.
- Jensen, M. B. 2004. Computer-controlled milk feeding of dairy calves: The effects of number of calves per feeder and number of milk portions on use of feeder and social behavior. *J. Dairy Sci.* 87:3428– 3438. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73478-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73478-5).
- Kocan, K.M., J. De La Fuente, A.A. Guglielmone, and R.D. Meléndez. 2003. Antigens and Alternatives for Control of *Anaplasma marginale* Infection in Cattle. *Clin. Microbiol. Rev.* 16:698–712. doi:10.1128/CMR.16.4.698-712.2003.
- Krachun, C., Rushen, J., & de Passillé, A. M. (2010). Play behaviour in dairy calves is reduced by weaning and by a low energy intake. *Applied Animal Behaviour Science*, 122(2–4), 71–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.12.002>.
- Lombard, J., N. Urie, F. Garry, S. Godden, J. Quigley, T. Earleywine, S. McGuirk, D. Moore, M. Branan, M. Chamorro, G. Smith, C. Shivley, D. Catherman, D. Haines, A.J. Heinrichs, R. James, J. Maas, and K. Sterner. 2020. Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *J. Dairy Sci.* 103:7611-7624. doi:10.3168/jds.2019-17955.
- Lowe, G. L., M. A. Sutherland, J. R. Waas, A. L. Schaefer, N. R. Cox, and M. Stewart. 2019. Physiological and behavioral responses as indicators for early disease detection in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 102:5389–5402. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15701>.
- Reiter, S., G. Sattlecker, L. Lidauer, F. Kickingger, M. Öhlschuster, W. Auer, V. Schweinzer, D. Klein-Jöbstl, M. Drillich, and M. Iwersen. 2018. Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:3398–3411. doi:10.3168/jds.2017-12686.
- Rodrigues, J.P.P., L.G.R. Pereira, H. do C. Diniz Neto, M.C. Lombardi, C.F. de A. Lage, S.G. Coelho, J.P. Sacramento, F.S. Machado, T.R. Tomich, R.M. Maurício, and M.M. Campos. 2019. Technical note: Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves. *Livest. Sci.* doi: 10.1016/j.livsci.2018.11.017.

- Royston, P., Altman, D.G. External validation of a Cox prognostic model: principles and methods. 2013. *BMC Med Res Methodol*. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2288-13-33>.
- Souza, R. S., Resende, M. F. S., Ferreira, L. C. A., Ferraz, R. S., Araújo, M. V. V., Bastos, C. V., ... & Facury Filho, E. J. (2021). Monitoring bovine tick fever on a dairy farm: An economic proposal for rational use of medications. *Journal of Dairy Science*, *104*(5), 5643-5651.
- Sturm, V., Efrosinin, D., Öhlschuster, M., Gusterer, E., Drillich, M., & Iwersen, M. 2020. Combination of sensor data and health monitoring for early detection of subclinical ketosis in dairy cows. *Sensors*, *20*(5), 1484.
- Swartz, T.H., A.N. Findlay, and C.S. Petersson-Wolfe. 2017. Short communication: Automated detection of behavioral changes from respiratory disease in pre-weaned calves. *J. Dairy Sci.* 100: 9273-9278. doi:10.3168/jds.2016-12280.
- Teixeira, V.A, A.M.Q. Lana, T. Bresolin, T.R. Tomich, G.M. Souza, J. Furlong, J.P.P. Rodrigues, S.G. Coelho, L.C. Gonçalves, J.A.G. Silveira, L.D. Ferreira, E.J. Facury Filho, M.M. Campos, J.R.R. Dorea, L.G.R. Pereira. 2022. Using rumination and activity data for early detection of anaplasmosis disease in dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/jds.2021-20952.
- Timsit, E., S. Assié, R. Quiniou, H. Seegers, and N. Bareille. 2011. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *Vet. J.* 190: 136-142. doi:10.1016/j.tvjl.2010.09.012.
- Zabel, T.A., and F.B. Augusto. 2018. Transmission Dynamics of Bovine Anaplasmosis in a Cattle Herd. *Interdiscip. Perspect. Infect. Dis.* 2018:1-17. doi:10.1155/2018/4373981.

Tabela 1. Média (\pm desvio-padrão; DP), tempo mínimo e máximo de atividade geral e ociosidade nas categorizações do monitoramento comportamental (BMC) em bezerros leiteiros.

Categorização	Atividade Geral		Ócio	
	Média \pm DP	Mínimo/ Máximo	Média \pm DP	Mínimo/ Máximo
Alerta sem doença (min/h)	12.66 \pm 1.71	7.20 / 16.10	11.33 \pm 1.71	7.90 / 16.76
Alerta com doença(min/h)	11.13 \pm 2.91	2.30 / 15.7	12.85 \pm 2.91	8.18 / 21.70
Sem alerta com doença (min/h)	12.41 \pm 0.87	10.03 / 14.95	11.58 \pm 0.87	9.05 / 13.96

Tabela 2. Matriz de confusão que avalia o modelo de predição de doença em bezerras leiteiras (n=100).

Valores reais de preditos positivos (alertas) e negativos (sem alerta)	Preditos		
	Matriz de confusão	Alerta	Sem alerta
Com doença		56	6
Sem doença		13	25

Os valores são classificados em: Verdadeiro positivo (VP) = o programa disse que em 56 dos 100 animais, estavam doentes, e realmente estavam; Falso Positivo (FP) = o programa disse que em 13 dos 100 animais estavam doentes, mas não estavam; Falso Negativo (FN) = o programa disse que em 6 dos 100 animais, não estavam doentes, mas estavam; Verdadeiro negativo (VN) = o programa disse que em 25 dos 100 animais não estavam doentes, não recebemos o feedback da fazenda quanto ao estado de saúde desses animais, porém consideramos os 25 animais para a matriz de confusão.

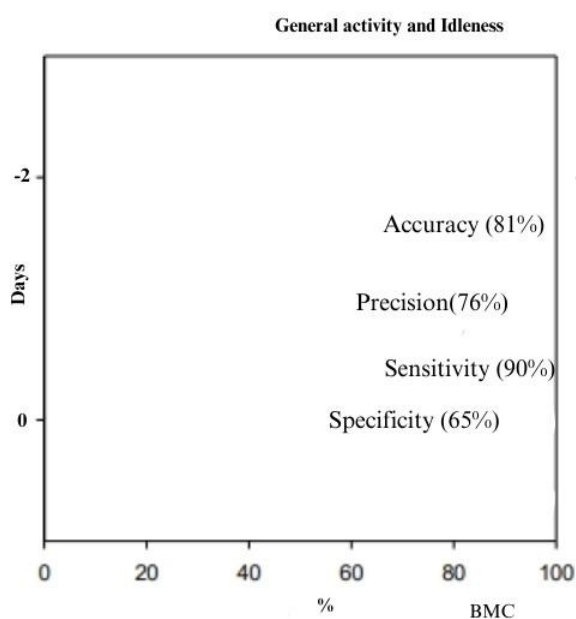


Figura 1- Acurácia, precisão, sensibilidade e especificidade do desempenho de um sistema de monitoramento comercial (CowMed) na detecção de doença com base no tempo de atividade geral e ócio, coletados de um colar de monitoramento (BMC).

Figura 2a

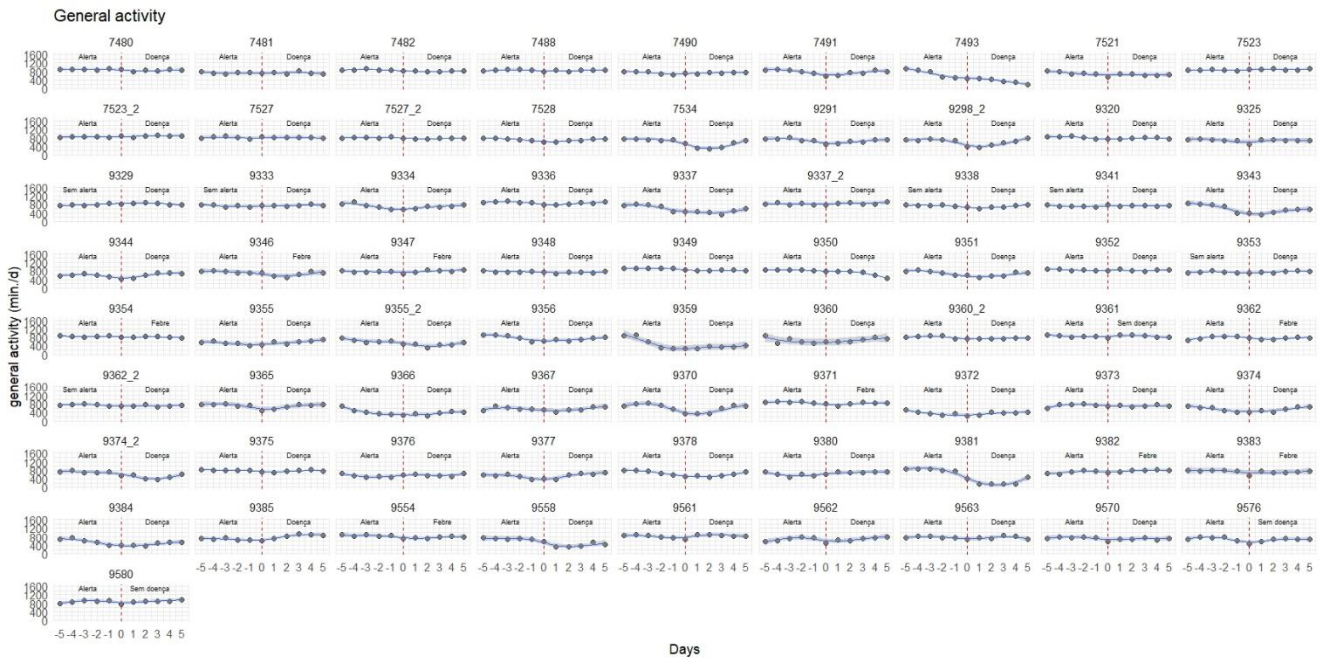


Figura 2b

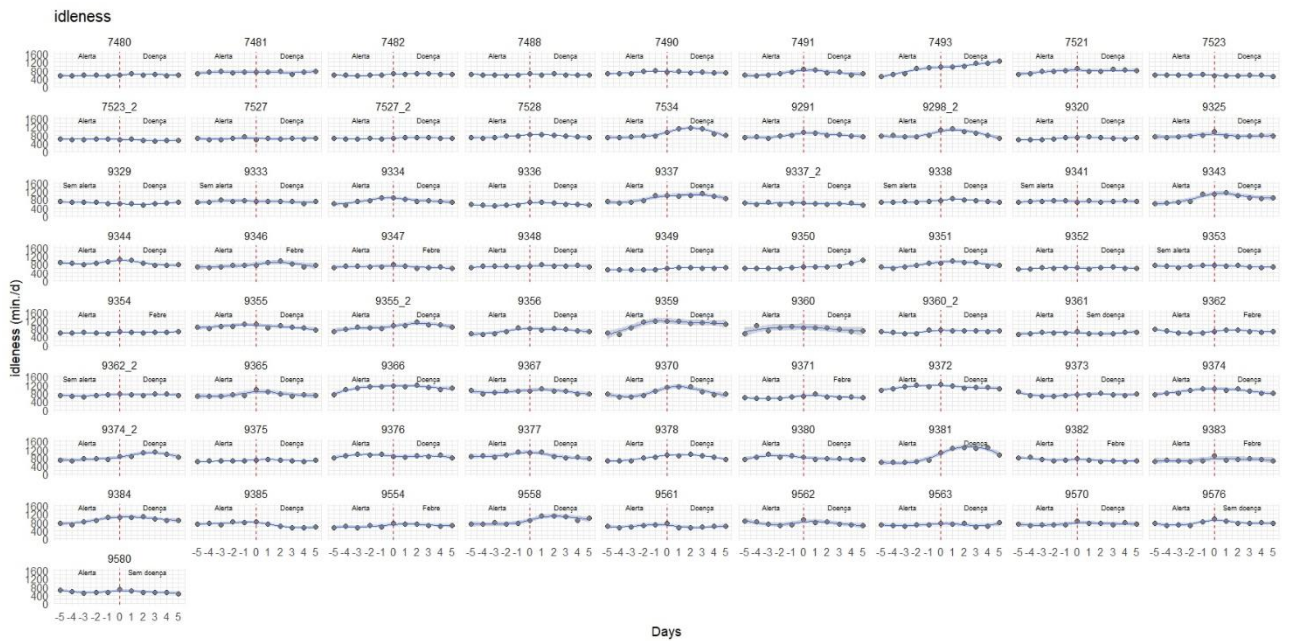


Figura 2- Acompanhamento das variações comportamentais de atividade geral (figura 1a) e ócio (figura 1b) individualmente para cada bezerra ao longo dos dias, comparando os animais com e sem alerta e diagnóstico com doença, com febre e sem doença.

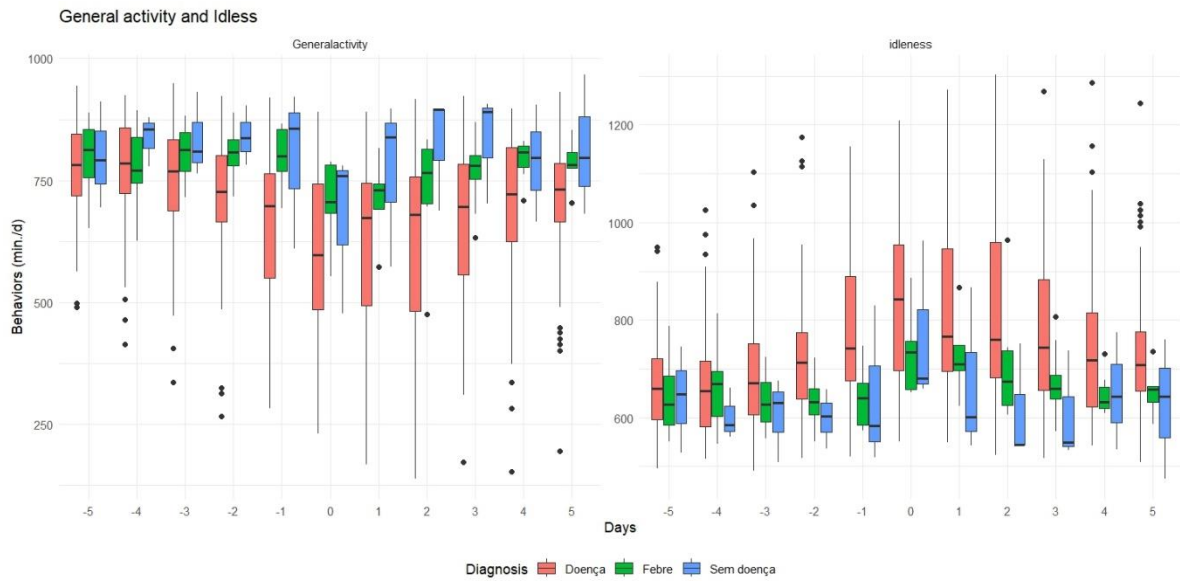


Figura 3- Boxplot do tempo de atividade geral e ócio medido pelas coleiras para bezerras CowMed (CowMed, Chip Inside Tecnologia S.A). Tempo saudável (azul) sem doença, tempo em vermelho animais com doença, Animais com febre (verde). Cada caixa indica quartis de distribuição (Q1, mediana e Q3); bigodes indicam mínimo ($Q1 - 1,5 \times$ intervalo interquartil) e máximo ($Q3 + 1,5 \times$ intervalo interquartil) de distribuição de dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As contribuições do presente estudo foram validar o uso do monitoramento comportamental em bezerras com idade de 20 a 90 dias de vida, em termos de precisão e acurácia, e avaliar o desempenho do sistema em identificar sinais precoces de doenças, especificamente tristeza parasitária bovina (anaplasnose). Ambas as abordagens foram realizadas em fazendas comerciais, para entender os reais desafios das tecnologias de precisão, pois nesse cenário temos interações que influenciam as variáveis estudadas, como o manejo diário e sistema de produção.

Sabemos que as tecnologias de monitoramento de comportamento animal representam uma abordagem objetiva e eficaz para o monitoramento do comportamento animal, especialmente em fazendas leiteiras. Essas ferramentas, ao processarem dados brutos por meio de algoritmos, detectam continuamente mudanças comportamentais em tempo real, simplificando drasticamente um processo que, de outra forma, seria subjetivo e demorado, validar essas tecnologias no campo, impulsionam o uso de forma confiável pelos pecuaristas.

Os resultados deste estudo demonstraram alta correlação entre as observações visuais e os dados obtidos pelo dispositivo de monitoramento de comportamento (BMC) em bezerros. A precisão do BMC foi evidenciada pelos testes realizados, fornecendo aos produtores uma ferramenta confiável para monitorar a atividade geral e a ociosidade dos animais.

No entanto, apesar da precisão geral, pequenas variações na acurácia podem ocorrer, especialmente devido às diferentes idades dos animais e às particularidades do desenvolvimento fisiológico, o que abre uma janela de futuras pesquisas em testar essas tecnologias em diferentes sistemas de produção, os resultados deste estudo fornecem uma base sólida para a continuidade e a aplicação confiável dessa tecnologia em estudos comportamentais com bezerros em diferentes estágios de desenvolvimento.

Em relação ao desempenho do sistema de monitoramento em identificar animais doentes, selecionamos uma fazenda comercial com alta incidência de tristeza parasitária bovina (anaplasnose), e sabemos que a anaplasnose bovina, causada pelo *Anaplasma marginale*, representa uma preocupação significativa em fazendas ao redor do mundo, resultando em perdas econômicas consideráveis e afetando tanto animais jovens quanto adultos.

Os resultados obtidos evidenciaram uma concordância satisfatória entre as predições do modelo e os resultados reais, destacando a capacidade do sistema de monitoramento em identificar corretamente os casos positivos da doença. No entanto, foi observado que a especificidade do sistema é uma área sensível, indicando a necessidade de aprimoramento para reduzir os alertas falsos positivos em casos em que a doença não está presente. É importante ressaltar que a identificação desses alertas falsos positivos pode oferecer insights valiosos sobre o manejo da fazenda, especialmente considerando que alguns animais do estudo experimentaram atrasos no fornecimento de alimento, resultando em alterações comportamentais devido ao estresse causado. Portanto, ao avaliar a especificidade de um sistema de monitoramento, podemos obter uma compreensão mais profunda do funcionamento da fazenda e identificar áreas de melhoria tanto no sistema quanto nas práticas de manejo adotadas.

A alta sensibilidade do sistema destaca sua capacidade robusta de detectar corretamente os casos positivos de anaplasmoses, fornecendo benefícios significativos para o gerenciamento diário das fazendas, contribuindo para o bem-estar animal e a eficiência do manejo da saúde do rebanho. No entanto, é crucial continuar aprimorando essas tecnologias de monitoramento, adaptando-as às diferentes condições de criação e manejo, a fim de garantir sua eficácia e aplicabilidade em diferentes contextos pecuários.

Considerando os desafios e nuances no comportamento animal, é essencial buscar uma compreensão mais profunda das interações entre os sistemas de monitoramento e o ambiente de criação, a fim de otimizar seu desempenho e maximizar seus benefícios para a saúde e o bem-estar dos animais de produção. Estudos futuros em condições diversas de criação, incluindo diferentes sistemas de produção, manejos e raças de animais, são necessários para validar e expandir os resultados obtidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

APPLEBY, MICHAEL C.; WEARY, DANIEL M.; CHUA, BEVERLEY. Performance and feeding behaviour of calves on ad libitum milk from artificial teats. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 74, n. 3, p. 191-201, 2001.

BABU, L. K.; PANDEY, H. N.; SAHOO, A. Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 87, p. 177-191, 2004. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.01.006.

BALDWIN, R. L.; MCLEOD, K. R.; KLOTZ, J. L.; HEITMANN, R. N. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, p. 55-65, 2004. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73183-8.

BARRIER, A.; RUELLE, E.; HASKELL, M.; DWYER, C. Effect of a difficult calving on the vigour of the calf, the onset of maternal behaviour, and some behavioural indicators of pain in the dam. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 103, p. 248-256, 2012. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2011.09.008.

BENAISSA, S.; TUYTTENS, F. A.; PLETS, D.; PESSEMIER, T.; TROGH, J.; TANGHE, E.; SONCK, B. On the use of on-cow accelerometers for the classification of behaviours in dairy barns. **Research in Veterinary Science**, London, v. 125, p. 425-433, 2019.

BERCHIELLI, Telma Teresinha; PIRES, Alexandre Vaz; OLIVEIRA, Simone Gisele de. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011.

BERCKMANS, D. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *In*: GEERS, R.; MADEC F (ed.). **Livestock Production and Society**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2006. p. 287-294.

BITTAR, C.M.M.; GALLO, M.P.; SILVA, J.T.; DE PAULA, M.R.; POCZYNEK, M.; MOURÃO, G.B. Gradual weaning does not improve performance for calves with low starter intake at the beginning of the weaning process. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 103, p. 4672-4680, 2020.

BIKKER, J. P.; VAN LAAR, H.; RUMP, P.; DOORENBOS, J.; VAN MEURS, K.; GRIFFIOEN, G. M.; DIJKSTRA, J. Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 2974-2979, 2014. DOI: 10.3168/jds.2013-7694.

BOISSY, A.; MANTEUFFEL, G.; JENSEN, M. B.; MOE, R. O.; SPRUIJT, B.; KEELING, L. J.; WINCKLER, C.; FORKMAN, B.; DIMITROV, I.; LANGBEIN, J.; BAKKEN, M.; VEISSIER, I.; AUBERT, A. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. **Physiology & Behavior**, New York, v. 92, p. 375-397, 2007.

- BOKKERS, E. A. M.; KOENE, P. Activity, oral behaviour and slaughter data as welfare indicators in veal calves: A comparison of three housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 75, p. 1-15, 2001. DOI: 10.1016/S0168-1591(01)00177-1.
- BONK, S.; BURFEIND, O.; SUTHAR, V.; HEUWIESER, W. Technical note: Evaluation of data loggers for measuring lying behavior in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, p. 3265-3271, 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-6195.
- BORCHERS, M. R.; CHANG, Y. M.; TSAI, I. C.; WADSWORTH, B. A.; BEWLEY, J. M. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, p. 7458-7466, 2016. DOI: 10.3168/jds.2015-10547.
- BORDERAS, T. F.; DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J. Behavior of dairy calves after a low dose of bacterial endotoxin. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 2920-2927, 2008. DOI: 10.2527/jas.2008-1011.
- BORDERAS, T. F.; DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J. Feeding behavior of calves fed small or large amounts of milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 2843-2852, 2009. DOI: 10.3168/jds.2008-1886.
- BREITENBERGER, S.; EFROSININ, D.; AUER, W.; DEININGER, A.; WAßMUTH, R. Change point detection in piecewise stationary time series for farm animal behavior analysis. *In: OPERATIONS RESEARCH PROCEEDINGS, 2015, Viena, Austria. Proceedings [...]. Viena, Austria: University of Vienna, 2015. p. 369-375.*
- BROOM, D. M.; FRASER, A. F. **Comportamento e bem-estar de animais domésticos**. Manole: São Paulo, 2010.
- BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas – Revisão. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 9, p. 1-11, 2004.
- BURFEIND, O.; SUTHAR, V. S.; VOIGTSBERGER, R.; BONK, S.; HEUWIESER, W. Validity of prepartum changes in vaginal and rectal temperature to predict calving in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 10, p. 5053-5061, 2011.
- BURGHARDT, Gordon M. **The genesis of animal play: testing the limits**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005.
- CALAMARI, L.; SORIANI, N.; PANELLA, G.; PETRERA, F.; MINUTI, A.; TREVISI, E. Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 3635-3647, 2014. DOI: 10.3168/jds.2013-7384.
- CAMILOTTI, T. V.; FREGONESI, J. A.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. Effects of bedding quality on the lying behavior of dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 6, p. 3380-3383, 2012. DOI: 10.3168/jds.2011-5181.

CARVALHO, P. A.; SANCHEZ, L. M. B.; VIÉGAS, J.; VELHO, J. P.; JURIS, G. C.; RODRIGUES, M. Desenvolvimento de Estômago de Bezerros Holandeses Desaleitados Precocemente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1461-1468, 2003.

CASTELLS, L; BACH, A; ARAUJO, G; MONTORO, C; TERRÉ, M. Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 95, n. 1, p. 286-293, 2012.

CHUA, B.; COENEN, E.; DELEN, J. V.; WEARY, D. M. Effects of pair versus individual housing on the behavior and performance of dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 360-364, 2002. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74108-9.

COSTA, M. J.; SILVA, R. P.; LÍVIA, C. M. **Boas Práticas de Manejo**: bezerros leiteiros. Jaboticabal: Funep, 2011.

COSTA, J. H.; CANTOR, M. C.; NEAVE, H. W. Symposium review: Precision technologies for dairy calves and management applications. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 104, p. 1203-1219, 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19649.

COSTA, J. H. C; MEAGHER, R. K; VON KEYSERLINGK, M. A. G; WEARY, D. M. Early pair housing increases solid feed intake and weight gains in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, n. 9, p. 6381-6386, 2015.

COVERDALE, J. A; TYLER, H. D; QUIGLEY III, J. D; BRUMM, J. A. Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 2554-2562, 2004.

CRAMER, M. C.; STANTON, A. Associations between health status and the probability of approaching a novel object or stationary human in preweaned group-housed dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, p. 7298-7308, 2015.

DAY, M. L; IMAKAWA, K; CLUTTER, A. C; WOLFE, P. L; ZALESKY, D. D; NIELSEN, M. K; KINDER, J. E. Suckling behavior of calves with dams varying in milk production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, n. 5, p. 1207-1212, 1987.

DE PASSILLÉ, A. M. B; METZ, J. H. M; MEKKING, P; WIEPKEMA, P. R. Does drinking milk stimulate sucking in young calves?. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 34, n. 1-2, p. 23-36, 1992.

DE PASSILLÉ, Anne Marie. Sucking motivation and related problems in calves. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 72, n. 3, p. 175-187, 2001.

DE PASSILLÉ, A. M.; JENSEN, M. B.; CHAPINAL, N.; RUSHEN, J. Technical note: use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, p. 3287-3293, 2010. DOI: 10.3168/jds.2010-3211.

- DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J. Adjusting the weaning age of calves fed by automated feeders according to individual intakes of solid feed. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 9, p. 5292-5298, 2012.
- DE VIEIRA, A. P; GUESDON, V; DE PASSILLE, A. M; VON KEYSERLINGK, M. A. G; WEARY, D. M. Behavioural indicators of hunger in dairy calves. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 109, n. 2-4, p. 180-189, 2008.
- DE PAULA VIEIRA, A.; DE PASSILLÉ, A. M.; WEARY, D. M. Effects of the early social environment on behavioral responses of dairy calves to novel events. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, p. 5149-5155, 2012. DOI: 10.3168/jds.2011-5217.
- DOLECHECK, K. A.; SILVIA, W. J.; HEERSCHE, G.; CHANG, Y. M.; RAY, D. L.; STONE, A. E.; WADSWORTH, B. A.; BEWLEY, J. M. Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring Technologies. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, p. 8723-8731, 2015. DOI: 10.3168/jds.2015-9532.
- DUVE, L. R.; JENSEN, M. B. Social behavior of young dairy calves housed with limited or full social contact with a peer. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 10, p. 5936-5945, 2012.
- EASTWOOD, C. R.; CHAPMAN, D. F.; PAINE, M. S. Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. **Agricultural Systems**, Barking, v. 108, p. 10-18, 2012.
- ENRÍQUEZ, Daniel; HÖTZEL, Maria J.; UNGERFELD, Rodolfo. Minimising the stress of weaning of beef calves: a review. **Acta Veterinaria Scandinavica**, London, v. 53, p. 1-8, 2011.
- FAGEN, R. **Animal Play Behavior**. New York: Oxford University Press, 1981.
- FREGONESI, J. A.; LEAVER, J. D. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 68, p. 205-216, 2001. DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00245-1.
- FREGONESI, J. A.; VIEIRA, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 5468-5472, 2007. DOI: 10.3168/jds.2007-0163.
- FROST, A. R.; SCHOFIELD, C. P.; BEAULAH, S. A.; MOTTRAM, T. T.; LINES, J. A.; WATHES, C. M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 139-159, 1997. DOI: 10.1016/s0168-1699(96)01301-4.
- FRÖBERG, Sofie; LIDFORS, Lena. Behaviour of dairy calves suckling the dam in a barn with automatic milking or being fed milk substitute from an automatic feeder in a group pen. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 117, n. 3-4, p. 150-158, 2009.

- HAMMELL, K. Larry; METZ, J. H. M.; MEKKING, P. Sucking behaviour of dairy calves fed milk ad libitum by bucket or teat. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 20, n. 3-4, p. 275-285, 1988.
- HÄNNINEN, L.; DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J. The effect of flooring type and social grouping on the rest and growth of dairy calves. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 91, p. 193-204, 2005. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.08.015.
- HART, B. L. Biological basis of the behavior of sick animals. **Bio behaviour**, New York, v. 12, p. 123-137, 1988. DOI: 10.1016/0166-4328(88)90021-0.
- HEINRICHS, A. J.; HEINRICHS, B. S.; HARE, O.; RODGERS, W.; PLACE, N. T. A prospective study of factors affecting age, body size and body condition score at first calving of Holstein dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p. 2828-2835, 2005. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72926-0.
- HEISLER, G; FISCHER, V; DE PARIS, M; ANGELO, I. D. V; PANAZZOLO, D. M; ZANELA, M. B. Effect of green tea and oregano extracts fed to preweaned Jersey calves on behavior and health status. **Journal of veterinary behavior**, Amsterdam, v. 37, p. 36-40, 2020.
- HELD, S. D.; ŠPINKA, M. Animal play and animal welfare. **Animal behaviour**, London, v. 81, n. 5, p. 891-899, 2011.
- HERDT, T. Fisiologia gastrointestinal e metabolismo. *In*: CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 231.
- HILL, T. M; BATEMAN II, H. G; ALDRICH, J. M; SCHLOTTERBECK, R. L. Effects of the amount of chopped hay or cottonseed hulls in a textured calf starter on young calf performance. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 91, n. 7, p. 2684-2693, 2008.
- HILL, T. M.; BATEMAN, H. G.; ALDRICH, J. M.; SCHLOTTERBECK, R. L. Comparisons of housing, bedding, and cooling options for dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, p. 2138-2146, 2011. DOI: 10.3168/jds.2010-4056.
- HOGVEEN, H; KAMPHUIS, C; STEENEVELD, W; MOLLENHORST, H. Sensors and clinical mastitis: the quest for the perfect alert. **Sensors**, Basel, v. 10, n. 9, p. 7991-8009, 2010. DOI: 10.3390/s100907991.
- HÖTZEL, M. J; LONGO, C; BALCAO, L. F; CARDOSO, C. S; COSTA, J. H. A survey of management practices that influence performance and welfare of dairy calves reared in southern Brazil. **Plos one**, San Francisco, v. 9, n. 12, p. e114995, 2014.
- ÍTAVO, L. C. V; ÍTAVO, C. C. B. F; SOUZA, S. R. M. B. O; DIAS, A. M; COELHO, E. M; MORAIS, M. G; SILVA, F. F. Avaliação da produção de bezerros em confinamento ou em suplementação exclusiva. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 948-954, 2007.

JASPER, J.; WEARY, D. M. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3054-3058, 2002.

JENSEN, M. B.; VESTERGAARD, K. S.; KROHN, C. C. Play behaviour in dairy calves kept in pens: the effect of social contact and space allowance. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 56, p. 97-108, 1998.

JENSEN, MARGIT BAK; BUDDE, M. The effects of milk feeding method and group size on feeding behavior and cross-sucking in group-housed dairy calves. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 89, n. 12, p. 4778-4783, 2006.

KHAN, M. A.; LEE, H. J.; LEE, W. S.; KIM, H. S.; KIM, S. B.; KI, K. S.; CHOI, Y. J. Pre- and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 90, n. 2, p. 876-885, 2007.

KHAN, M. A.; WEARY, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 94, n. 3, p. 1071-1081, 2011.

KHAN, M. A.; BACH, A.; WEARY, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, p. 885-902, 2016.

KERTZ, A. F.; PREWITT, L. R.; EVERETT JR, J. P. An early weaning calf program: Summarization and review. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 62, n. 11, p. 1835-1843, 1979.

KEIL, Nina M.; LANGHANS, Wolfgang. The development of intersucking in dairy calves around weaning. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 72, n. 4, p. 295-308, 2001.

KONING, C. Automatic milking-common practice on dairy farms. FIRST NORTH AMERICAN CONFERENCE ON PRECISION DAIRY MANAGEMENT. *In: Proc. of the 1st North American Conf. on Precision Dairy Management*, 2010.

KRACHUN, C.; RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M. Play behaviour in dairy calves is reduced by weaning and by a low energy intake. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 122, p. 71-76, 2010. DOI: 10.1016/j.applanim.2009.12.005.

LAARMAN, A. H.; SUGINO, T.; OBA, M. Effects of starch content of calf starter on growth and rumen pH in Holstein calves during the weaning transition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, p. 4478-4487, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4822>. Acesso em: 20 jan. 2024.

LACA, E. A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. SPE, p. 123-132, 2009.

LEDGERWOOD, D. N.; WINCKLER, C.; TUCKER, C. B. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy

cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, p. 5129–5139, 2010. DOI: 10.3168/jds.2010-3161.

LOPREIATO, V.; MINUTI, A.; PICCIOLI CAPPELLI, F.; VAILATI-RIBONI, M.; BRITTI, D.; TREVISI, E.; MORITTU, V. M. Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 212, p. 127-130, 2018. DOI: 10.1016/j.livsci.2018.04.020.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; GUARINO, M. A review on dairy cattle farming: is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production?. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 262, [art.] 121409, 2020.

MALTZ, E. Individual dairy cow management: achievements, obstacles and prospects. **Journal of Dairy Research**, London, v. 87, n. 2, p. 145-157, 2020.

MILLER-CUSHON, E. K.; BERGERON, R.; LESLIE, K. E.; DEVRIES, T. J. Effect of milk feeding level on development of feeding behavior in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, n. 1, p. 551–564, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/JDS.2012-5937>. Acesso em: 20 jan. 2024.

MILLER-CUSHON, E. K.; DEVRIES, T. J. Invited review: Development and expression of dairy calf feeding behaviour. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 95, n. 3, p. 341-350, 2015.

MÜLLER, R.; SCHRADER, L. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 83, n. 4, p. 247-258, 2003. DOI: 10.1016/S0168-1591(03)00104-5.

MURRAY, C. F.; VEIRA, D. M.; NADALIN, A. L.; HAINES, D. M.; JACKSON, M. L.; PEARL, D. L.; LESLIE, K. E. The effect of dystocia on physiological and behavioral characteristics related to vitality and passive transfer of immunoglobulins in newborn Holstein calves. **The Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v. 79, p. 109-119, 2015. DOI: 10.1139/cjvr-2014-0113.

NICOL, ALASTAIR MOFFAT; SHARAFELDIN, M. A. **Observations on the behaviour of single-suckled calves from birth to 120 days**. Lincoln, N.Z. : Lincoln College, 1975.

ODDE, K. G.; KIRACOFÉ, G. H.; SCHALLES, R. R. Suckling behavior in range beef calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, n. 2, p. 307-309, 1985.

OLIVEIRA, J. S.; ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Diversidade microbiana no ecossistema ruminal. **Revista Eletrônica de Veterinária**, Málaga, v. 8, n. 6, p. 1-12, 2007.

PHILLIPS, C. J. C. The effects of forage provision and group size on the behavior of calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, p. 1380–1388, 2004. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73243-1.

QUIMBY, W. F.; SOWELL, F.; BOWMAN, J. G. P.; BRANINE, M. E.; HUBBERT, M. E.; SHERWOOD, H. W. Application of feeding behavior to predict morbidity of newly received calves in a commercial feedlot. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 81, p. 315-320, 2001. doi: 10.4141/A00-098.

ROBERT, B.; WHITE, B. J.; RENTER, D. G.; LARSON, R. L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 67, n. 1-2, p. 80-84, 2009.

ROLAND, L.; LIDAUER, L.; SATTLECKER, G.; KICKINGER, F.; AUER, W.; STURM, V.; EFROSININ, D.; DRILLICH, M.; IWERSEN, M. Monitoring drinking behavior in bucket-fed dairy calves using an ear-attached tri-axial accelerometer: a pilot study. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 145, p. 298–301, 2018. doi: 10.1016/j.compag.2018.01.016.

ROSENBERGER, K.; COSTA, J. H. C.; NEAVE, H. W.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. The effect of milk allowance on behavior and weight gains in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100, p. 504–512, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11195>. Acesso em: 27 jan. 2024.

RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. **The welfare of cattle**. Dordrecht: Springer, 2007.

RUTTEN, C. J.; VELTHUIS, A. G. J.; STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Sensors to support health management on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, p. 1928-1952, 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-6031.

SANDER, E. G; WARNER, R. G; HARRISON, H. N; LOOSLI, J. K. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 42, n. 9, p. 1600-1605, 1959.

SANTOS, L. C. Desenvolvimento de papilas ruminais. **Pubvet**, Londrina, v. 2, n. 40, 2008.

SCHIRMANN, K.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M.; VEIRA, D. M.; HEUWIESER, W. Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 6052-6055, 2009. DOI: 10.3168/jds.2009-2425.

SCHUKKEN, Y.; BARKEMA, H.; LAM, T.; ZADOKS, R. Improving udder health on well managed farms: mitigating the “perfect storm.”. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE MASTITIS CONTROL FROM SCIENCE TO PRACTICE*, The Haque, 2008. **Proceedings** [...]. Wageningen: Wageningen Academic, 2008. p. 21-35.

SORIANI, N.; TREVISI, E.; CALAMARI, L. Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period.

Journal of Animal Science, Champaign, v. 90, p. 4544–4554, 2012. DOI: 10.2527/jas.2012-5064.

SOBERON, F.; AMBURGH, M. V. The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: a meta-analysis of current data. **Journal of animal science**, Champaign, v. 91, n. 2, p. 706-12, 2013.

STEELE, M. A.; DOELMAN, J. H.; LEAL, L. N.; SOBERON, F.; CARSON, M.; METCALF, J. A. Abrupt weaning reduces postweaning growth and is associated with alterations in gastrointestinal markers of development in dairy calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning period. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100, p. 5390–5399, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12310>. Acesso em: 27 jan. 2024.

STOBO, I. J. F.; ROY, J. H. B.; GASTON, H. J. Rumen development in the calf: 2. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on digestive efficiency. **British journal of nutrition**, Cambridge, v. 20, n. 2, p. 189-215, 1966. doi: 10.1079/BJN19660018.

SUTHERLAND, M. A.; LOWE, G. L.; HUDDART, F. J.; WAAS, J. R.; STEWART, M. Measurement of dairy calf behavior prior to onset of clinical disease and in response to disbudding using automated calf feeders and accelerometers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 101, p. 8208-8216, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-14207.

SUÁREZ, B. J.; VAN REENEN, C. G.; STOCKHOFE, N.; DIJKSTRA, J.; GERRITS, W. J. J. Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 5, p. 2390-2403, 2007.

SVENSSON, C.; JENSEN, M. B. Identification of diseased calves by use of data from automatic milk feeders. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 994-997, 2007. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71584-9.

SWANSON, E. W.; HARRIS, J. D. Development of rumination in the young calf. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 41, p. 1768–1776, 1958. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(58)91476-5.

SWARTZ, T. H.; MCGILLIARD, M.; PETERSSON-WOLFE, C. Technical note: the use of an accelerometer for measuring step activity and lying behaviors in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, p. 9109–9113, 2016. DOI: 10.3168/jds.2016-11607.

SWEENEY, B. C.; RUSHEN, J.; WEARY, D. M.; DE PASSILLÉ, A. M. Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, n. 1, p. 148–152, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/JDS.2009-2427>. Acesso em: 30 jan. 2024.

TOAFF-ROSENSTEIN, R. L.; GERSHWIN, L. J.; ZANELLA, A. J.; TUCKER, C. B. The sickness response in steers with induced bovine respiratory disease before and after

treatment with a non-steroidal anti-inflammatory drug. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 181, p. 49-62, 2016.

TOLEDO, A. F. D.; DONDÉ, S. C.; SILVA, A. P.; CEZAR, A. M.; COELHO, M. G.; TOMALUSKI, C. R. Whole-plant flint corn silage inclusion in total mixed rations for pre-and postweaning dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 106, n. 9, p. 6185-6197, 2023.

TRÉNEL, P.; JENSEN, M. B.; DECKER, E. L.; SKJØTH, F. Technical note: Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the Ice Tag automatic recording device. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 3397-3401, 2009. DOI: 10.3168/jds.2009-2040.

TROTZ-WILLIAMS, L. A.; LESLIE, K. E.; PEREGRINE, A. S. Passive immunity in Ontario dairy calves and investigation of its association with calf management practices. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, p. 3840–3849, 2008. DOI: 10.3168/jds.2008-1243.

UNOLD, O; NIKODEM, M; PIASECKI, M; SZYC, K; MACIEJEWSKI, H; BAWIEC, M; ZDUNEK, M. IoT-Based Cow Health Monitoring System. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE*, 2020, Amsterdam. **Proceedings** [...]. Amsterdam: University of Amsterdam, 2020. p. 344-356.

VAN NIEKERK, J. K; M. MIDDELDORP, L. L. GUAN, AND M. A. STEELE. Preweaning to postweaning rumen papillae structural growth, ruminal fermentation characteristics, and acute-phase proteins in calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 104, p. 3632–3645, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19003>.

VIAZZI, S; BAHR, C; SCHLAGETER-TELLO, A; VAN HERTEM, T; ROMANINI, C. E. B; PLUK, A; BERCKMANS, D. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, p. 257-266, 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-5542.

WATHES, C. M.; KRISTENSEN, H. H.; AERTS, J. M.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 2-10, 2008.

WEARY, D.; HUZZEY, J.; VON KEYSERLINGK, M. Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 2, p. 770-777, 2009.

WARNER, R. G.; FLATT, W. P.; LOOSLI, J. K. Ruminant nutrition, dietary factors influencing development of ruminant stomach. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 4, n. 9, p. 788-792, 1956.

WEBSTER, J. **Calf husbandry, health and welfare**. London: Collins, 1985.

WOLFENSON, D.; FLAMENBAUM, I.; BERMAN, A. Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. **Journal of**

Dairy Science, Champaign, v. 71, p. 809-818, 1988. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79687-6.

YANAR, M.; KARTAL, T. Z.; AYDIN, R.; KOCYIGIT, R.; DILER, A. Effect of different floor types on the growth performance and some behavioural traits of Holstein Friesian calves. **Journal of animal and plant sciences**, Islamabad, Pakistan v. 20, p. 175–179, 2010.

VITA

Julia Fernandes Aires, nascida em 31 de março de 1995 no município de São Sepé, Rio Grande do Sul. Filha de Elenara Fernandes Aires e Ezequiel Gonçalves Aires. Viveu a infância em São Sepé, com os pais e irmãos, Anderson, Micheli e Maria Eduarda.

Cursou o Ensino Fundamental na escola Estadual Capitão Emidio Jaime de Figueiredo, do quarto ao oitavo ano na escola Municipal Rio Branco, todas localizadas em São Sepé. Já o Ensino Médio foi cursado no Colégio Estadual São Sepé, no município de São Sepé, Rio Grande do Sul.

Em 2012, ingressou no Curso de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), além de cumprir as disciplinas obrigatórias do curso de Zootecnia, desenvolveu e colaborou em várias atividades extracurriculares, especialmente no setor de iniciação científica, atuando no Laboratório de Bovinocultura de Leite e no PET Zootecnia.

Fez o estágio curricular obrigatório em 2017, na área de Boas Práticas de Fabricação, na Cooperativa Cotrisel, no município de São Sepé.

Em 2017 iniciou seu curso Técnico em Agronegócio, no Sennar, concluindo em agosto de 2019.

Em 2018 iniciou seu Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área de concentração em Produção animal, como bolsista CAPES. No mesmo ano e na mesma instituição iniciou no curso para Formação de Professores, onde concluiu em 2020.

Em 2020 iniciou seu Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na área de concentração Sistema de Produção e Nutrição de Ruminantes, como bolsista CAPES.