CAPÍTULO 4

Monitoramento comportamental automatizado e desempenho reprodutivo de vacas leiteiras

Letícia Minussi Winck[1], Maria Eduarda Pieniz Hamerski[1], Francine Basso Facco[1], Duvan Sanabia-Bautista[1], Estéfani Capucho[1], Julio Viégas[1], Tiago A. Del Valle[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c4

Resumo

A eficiência reprodutiva em rebanhos leiteiros de alta produção é influenciada por distúrbios metabólicos no pós-parto e por falhas na manutenção da gestação. Colares de monitoramento comportamental permitem acompanhar continuamente a atividade, a ruminação e o descanso, mas sua aplicação na tomada de decisões reprodutivas requer avaliação. Foram realizados dois estudos retrospectivos. No Estudo 1 (26.800 vacas, 441 fazendas), animais classificados como desafiados por alertas de saúde nos primeiros 21 dias em lactação (DEL; 5,11%) apresentaram atraso no primeiro estro (52,8 vs. 42,8 DEL) e na concepção (126,0 vs. 115,7 DEL), além de menor proporção de vacas ciclando aos 45 DEL (42,7 vs. 53,6%; $P < 0,001$). Não houve diferença na intensidade do estro ou na concepção à primeira inseminação artificial (IA). No Estudo 2 (19.263 inseminações, 4.474 vacas, 16 fazendas), o alerta de estro no momento da IA aumentou em 50% a chance de concepção aos 30 dias (OR = 1,50; IC95%: 1,34–1,68). Entretanto, sua associação com a perda gestacional entre 30 e 60 dias dependeu do protocolo: reduziu em 54% a chance de perda na IA convencional pós-estro, mas aumentou essa chance em 2,3 vezes nos protocolos sincronizados. Assim, o alerta de estro é um indicador relevante da concepção, mas sua relação com a perda gestacional varia conforme o protocolo reprodutivo.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: acelerômetro; perda gestacional; pecuária de precisão; período de transição.

1. Introdução

A pecuária leiteira passou por um intenso processo de modernização e seleção genética focada no aumento da produção individual de leite (Oltenacu e Broom, 2010; Lucy, 2019). Esse avanço produtivo, contudo, foi acompanhado pelo declínio dos indicadores de fertilidade e saúde, decorrente de correlações genéticas desfavoráveis e do aumento do estresse metabólico imposto às matrizes de alto mérito produtivo (Thatcher *et al*., 2006; Oltenacu e Broom, 2010). Em rebanhos comerciais, a eficiência reprodutiva é comprometida em dois momentos críticos da lactação: no pós-parto imediato, quando distúrbios metabólicos e inflamatórios retardam o restabelecimento da ciclicidade ovariana (Walsh et al., 2011; Sundrum, 2015) e após a inseminação, quando falhas na manutenção da gestação resultam em perdas embrionárias tardias e fetais iniciais (Wiltbank *et al*., 2016; Pohler *et al*., 2020).

Durante o período de transição, compreendido entre as três semanas que antecedem e as três semanas que sucedem o parto, o aumento da demanda energética para a lactação associado ao consumo de matéria seca ainda reduzido induz o balanço energético negativo (BEN) (Martens, 2023). A mobilização lipídica excessiva e o estresse metabólico predispõem à ocorrência de enfermidades clínicas e subclínicas, como cetose, metrite e deslocamento de abomaso (Leblanc, 2008; Carvalho *et al*., 2019). Distúrbios metabólicos e sanitários no período de transição podem comprometer a retomada da função reprodutiva, ao interferirem na regulação hormonal e na disponibilidade de substratos metabólicos essenciais à atividade ovariana (Garnsworthy *et al*., 2008; Mirzaei *et al*., 2023). Paralelamente, em vacas de alta produção, a identificação do estro torna-se mais desafiadora devido à menor duração e intensidade das manifestações comportamentais associadas a esse evento (Lopez *et al*., 2004; Dobson *et al*., 2008).

Nesse cenário, os sistemas automatizados de monitoramento comportamental (automated activity monitors – AAM), como colares equipados

com acelerômetros triaxiais, consolidaram-se como tecnologias centrais na pecuária de precisão (Roelofs *et al*., 2010; Rutten *et al*., 2013). Ao registrar continuamente métricas individuais de ruminação, atividade e descanso, esses dispositivos geram alertas automatizados que permitem tanto a identificação precoce de distúrbios de saúde (Stangaferro *et al*., 2016; Steensels *et al*., 2017) quanto à detecção objetiva do estro e da intensidade da manifestação estral (Mayo *et al*., 2019; Álvarez *et al*., 2025).

Apesar do amplo uso dos AAM, persistem lacunas relevantes sobre como integrar e interpretar esses dados comportamentais na tomada de decisão em condições comerciais de grande escala (Borchardt *et al*., 2021; Bretzinger *et al*., 2023). A primeira lacuna refere-se ao valor prognóstico dos alertas de saúde no pós-parto imediato, avaliando se o desafio sanitário detectado pelo sensor afeta de forma permanente a qualidade dos eventos reprodutivos (como a intensidade do estro e a taxa de concepção) ou se atua principalmente no atraso temporal do retorno à ciclicidade (Walsh *et al*., 2011; Carvalho *et al*., 2019).

A segunda lacuna diz respeito ao significado do alerta de estro no momento da inseminação artificial (IA) e sua relação com a manutenção da gestação (Pereira *et al*., 2016; Madureira *et al*., 2019). Em sistemas intensivos como o brasileiro, nos quais predominam os protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF) (Sales *et al*., 2024), o alerta de atividade gerado pelo sensor não determina a decisão de inseminar, mas sim reflete a resposta fisiológica e endócrina do animal ao tratamento hormonal (Burnett *et al*., 2018; Tippenhauer *et al*., 2023). Permanece incerto se o efeito do alerta de estro sobre a concepção e, em especial, sobre a perda gestacional entre 30 e 60 dias pós-IA é consistente entre diferentes protocolos reprodutivos ou modificado pelo protocolo reprodutivo empregado (sincronizado vs. cio espontâneo) (Tippenhauer *et al*., 2023; Sartori *et al*., 2025).

Diante dessas lacunas, o objetivo deste trabalho é avaliar a associação entre indicadores comportamentais registrados por colares de monitoramento e o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras em rebanhos comerciais, abordando: I. O impacto de desafios sanitários detectados no pós-parto imediato (primeiros 21 dias em lactação) sobre o intervalo até o primeiro estro, primeira inseminação e concepção, bem como sobre a intensidade do estro e a taxa de

concepção; II. A associação entre a presença do alerta de estro no momento da inseminação e a taxa de concepção inicial aos 30 dias pós-IA; III. O efeito do alerta de estro sobre a ocorrência de perda gestacional entre 30 e 60 dias pós-IA, testando explicitamente a modulação desse efeito pelo protocolo reprodutivo utilizado (inseminação convencional após cio espontâneo vs. protocolos sincronizados de IATF/TETF).

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização do local, animais e da coleta de dados comportamentais

O estudo foi conduzido a partir de dados retrospectivos obtidos em fazendas comerciais de gado leiteiro localizadas no Brasil, equipadas com colares eletrônicos de monitoramento comportamental (Cowmed®, Chip Inside S.A., Santa Maria, Brasil). Os colares possuem acelerômetros triaxiais que registram continuamente variáveis de atividade física, tempo de ruminação e tempo de ócio. Os dados brutos são transmitidos e processados por algoritmos proprietários que comparam o comportamento individual diário com a linha de base histórica do próprio animal.

2.2 Estudo 1: Alertas de saúde no pós-parto imediato e desempenho reprodutivo

Para avaliar o efeito de desafios sanitários do pós-parto inicial sobre a eficiência reprodutiva subsequente, foram analisados registros de 26.800 vacas leiteiras (primíparas e multíparas) distribuídas em 441 fazendas confinadas (Compost Barn e Free Stall). Foram incluídas apenas vacas que conceberam durante a lactação avaliada. O algoritmo do sistema identificou desvios comportamentais (redução na ruminação e na atividade, associadas ao aumento do tempo de ócio) nos primeiros 21 dias em lactação (DEL), gerando um escore de desafio sanitário. As vacas foram classificadas em dois grupos: Vacas Normais (n = 25.431; 94,89%): sem alertas significativos de saúde nos primeiros 21 DEL; Vacas Desafiadas (n = 1.369; 5,11%): com alteração sanitária/metabólica detectada pelo sistema nos primeiros 21 DEL.

As variáveis reprodutivas avaliadas incluíram: dias até o primeiro estro, intensidade do primeiro estro (escore de 1 a 5), proporção de vacas ciclando aos 45 DEL, dias até a primeira IA, taxa de concepção à primeira IA, dias até a concepção fértil e intensidade do estro na concepção fértil.

2.3 Estudo 2: Alertas de estro, protocolos reprodutivos, concepção e perda gestacional

Para avaliar a associação entre o alerta de estro detectado pelo colar no momento da IA e os desfechos gestacionais sob diferentes contextos reprodutivos, analisou-se uma base contendo 19.263 inseminações em 4.474 vacas de 16 fazendas comerciais localizadas em quatro estados brasileiras (Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo).

A presença de alerta de estro gerado pelo colar no período da inseminação foi categorizada como variável binária (1 = com alerta; 0 = sem alerta). Os protocolos reprodutivos foram agrupados em: Sincronizados (n = 7.122): inseminação artificial em tempo fixo (IATF) e transferência de embriões em tempo fixo (TETF); IA Convencional (n = 12.054): inseminação realizada após detecção de cio espontâneo; Ressincronização com Prostaglandina (n = 87). Os desfechos avaliados foram a concepção inicial (diagnóstico positivo de gestação aos 30 dias pós-IA) e a perda gestacional (positivo aos 30 dias e negativo aos 60 dias pós-IA).

2.4 Análises estatísticas

Os dados do Estudo 1 foram analisados no SAS (versão 9.4) utilizando o procedimento PROC GLIMMIX. O modelo incluiu o efeito fixo do status de desafio pós-parto e os efeitos aleatórios de fazenda e método de acasalamento. Variáveis contínuas de tempo até o evento (DEL) foram modeladas com distribuição log-normal; os dados binários (ciclicidade e concepção) com distribuição binomial; e os dados binários (ciclicidade e concepção) com distribuição de Poisson. No Estudo 2, foram conduzidas análises bivariadas estratificadas por protocolo (PROC FREQ), com teste de Breslow-Day para

checar a homogeneidade dos Odds Ratios (OR). Em seguida, realizou-se regressão logística multivariável (PROC LOGISTIC), ajustada por paridade e produção de leite diária. Para o desfecho da perda gestacional, incluiu-se o termo de interação alerta × protocolo reprodutivo. O nível de significância adotado foi $\alpha = 0,05$.

2.5. Nota metodológica

Os dados que embasam os resultados apresentados neste capítulo integram dois recortes científicos distintos: o Estudo 1 (já aceito/publicado; Winck et al.) e o Estudo 2 (atualmente submetido à apreciação editorial). Com vistas a preservar as diretrizes de originalidade e integridade autoral exigidas pelas revistas científicas de destino, a totalidade das tabelas e apêndices analíticos pormenorizados de ambos os estudos não foi incluída nesta versão, optando-se por uma exposição sintética e integrativa dos achados práticos para fins didáticos e de divulgação no evento.

3. Resultados e discussão

No Estudo 1, a estatística descritiva geral revelou médias de 51,1 ± 37,3 DEL para o primeiro estro e 137,0 ± 88,8 DEL para a concepção. A ocorrência de alertas comportamentais de saúde nos primeiros 21 DEL afetou negativamente a cronologia da retomada reprodutiva das vacas.

Vacas desafiadas apresentaram atrasos expressivos no retorno à atividade ovariana cíclica. Uma menor proporção de animais estava ciclando aos 45 DEL (42,7% *vs.* 53,6%; $P < 0,001$) e a ocorrência do primeiro estro foi observada 10 dias mais tarde em relação às vacas normais (52,8 *vs*. 42,8 DEL; $P < 0,001$). Resultando em atraso na primeira IA (69,5 *vs*. 64,5 DEL; $P < 0,001$) e no intervalo do parto à concepção fértil (126,0 *vs.* 115,7 DEL; $P < 0,001$). Esses achados confirmam que distúrbios metabólicos e sanitários de transição afetam o eixo hipotalâmico-hipofisário-ovariano por meio da menor frequência de pulsos de LH e da menor disponibilidade de glicose e IGF-I, suprimindo o desenvolvimento e a ovulação folicular (Martens, 2023; Mirzaei *et al*., 2023). Contudo, não foram observadas diferenças na intensidade do primeiro estro, na

intensidade do estro na concepção ou na taxa de concepção à primeira IA (*P* > 0,15). Isso indica que os desafios do pós-parto afetam prioritariamente o tempo dos eventos reprodutivos (retorno à ciclicidade), mas não a sua qualidade uma vez que a homeostase metabólica é restabelecida (Walsh *et al*., 2011; Sundrum, 2015).

Por outro lado, no estudo 2, a frequência de alertas no momento da IA variou segundo o protocolo: 63,9% nos protocolos sincronizados (IATF/TETF) contra 22,0% na IA convencional pós-cio (*P* < 0,001). O teste de Breslow-Day confirmou a heterogeneidade das ORs (razões de probabilidade) entre os protocolos, tanto para a concepção (*P* < 0,001) quanto para a perda gestacional (*P* < 0,001). Na análise multivariável para concepção inicial aos 30 dias (n = 6.652; 3.217 eventos), não se detectou interação significativa (*P* = 0,371). O modelo aditivo demonstrou que a presença do alerta de estro aumentou em 50% a chance ajustada de concepção (OR = 1,499; IC 95%: 1,341–1,675; *P* < 0,001), de forma homogênea entre os protocolos. A expressão do estro identificada por acelerômetros reflete um ambiente hormonal periovulatório favorável, marcado pela exposição prévia de progesterona e pelo subsequente pico de estradiol (Madureira *et al*., 2015, 2021; Tippenhauer *et al*., 2021, 2023).

Em contrapartida, a análise do desfecho de perda gestacional entre 30 e 60 dias de gestação (n = 3.217; 460 eventos), revelou uma interação altamente significativa entre alerta × protocolo reprodutivo (Teste de Wald; *P* < 0,001). Na IA Convencional (Cio Espontâneo), a presença de alerta de atividade reduziu em 54% a chance ajustada de perda gestacional (OR = 0,461; IC 95%: 0,351–0,605; *P* < 0,001). Esse efeito protetor reflete um ambiente uterino superior impulsionado pela maior secreção pré-ovulatória de estradiol, favorecendo o reconhecimento materno da prenhez, a supressão do sistema imunológico local e a adesão do concepto, essenciais para a fixação e manutenção embrionária durante a janela crítica de placentação (Pereira et al., 2016).

Nos protocolos sincronizados (IATF/TETF), a presença de alerta de atividade esteve associada a uma chance 2,29 vezes maior de perda gestacional (OR = 2,292; IC 95%: 1,085–4,844; *P* = 0,030). Essa divergência em protocolos sincronizados sugere duas hipóteses principais: I. Viés de resgate de menor viabilidade: O estímulo hormonal do protocolo associado à alta responsividade

do animal permite a sobrevivência inicial e a gestação aos 30 dias de conceptos de menor viabilidade (que seriam eliminados antes do dia 27 em condições normais), os quais acabam falhando na janela subsequente de placentação entre os dias 30 e 60 (Wiltbank *et al*., 2016; Fernandez - Novo *et al*., 2020; Pohler *et al*., 2020); II. Dessincronização temporal: Em protocolos com horário fixo de inseminação, vacas que manifestam picos intensos de atividade podem ovular em intervalos variáveis em relação à IA, resultando na fertilização de oócitos envelhecidos que geram embriões com menor capacidade de manutenção gestacional tardia (Burnett *et al*., 2018; Álvarez *et al*. 2025).

3.1 Implicações práticas

A leitura conjunta dos resultados indica que a informação sensorial gerada por colares não deve ser tratada de forma isolada ou uniforme. No pós-parto imediato, alertas de saúde auxiliam na identificação precoce de lotes ou matrizes em risco de atraso reprodutivo. Já no momento da IA, os alertas de estro servem como critério qualidade do estro em programas de cio espontâneo (reduzindo perdas gestacionais), enquanto em programas de IATF/TETF sinalizam animais com elevada taxa de concepção inicial, porém com necessidade de um diagnóstico gestacional rigoroso aos 60 e aos 90 dias.

4. Considerações finais

Os colares de monitoramento comportamental oferecem avaliação objetiva e contínua do estado adaptativo e reprodutivo das vacas em condições comerciais. Os desafios sanitários e metabólicos identificados automaticamente nos primeiros 21 dias em lactação associaram-se ao atraso no retorno à ciclicidade, estendendo os intervalos até o primeiro estro, a primeira inseminação e a concepção. Esse comprometimento, contudo, mostra-se temporário e restrito à cronologia reprodutiva. Com o retorno da homeostase, as vacas desafiadas recuperam a eficiência reprodutiva, alcançando intensidade de estro e taxa de concepção comparáveis às dos animais sem histórico de alerta. Já no momento da inseminação, a leitura do alerta de estro deve considerar o contexto

reprodutivo da fazenda, visto que seu impacto sobre a manutenção da gestação difere entre a IA convencional pós-cio e os protocolos sincronizados.

Esses achados devem ser interpretados à luz das limitações dos estudos: natureza observacional e retrospectiva, que impede inferências causais; inclusão apenas de vacas que conceberam no Estudo 1, o que tende a subestimar o impacto do desafio pós-parto; tratamento binário do alerta, sem a intensidade contínua do pico de atividade; e definição de perda gestacional que não captura as perdas embrionárias precoces. Soma-se o fato de a classificação comportamental derivar de algoritmos proprietários não validados contra diagnóstico clínico.

Ainda assim, os sistemas de monitoramento automatizado constituem aliados valiosos na pecuária leiteira de precisão, permitindo identificar precocemente animais com recuperação reprodutiva comprometida e embasando estratégias individualizadas de manejo.

5. Referências bibliográficas

ÁLVAREZ, J. A. *et al*. Estrus detection and optimal insemination timing in Holstein cattle using a neck-mounted accelerometer sensor system. **Sensors.** 25(17):5245. 2025. http://dx.doi.org/10.3390/s25175245.

BORCHARDT, S. *et al*. Association of estrous expression detected by an automated activity monitoring system within 40 days in milk and reproductive performance of lactating Holstein cows. **Journal Dairy Science.** 104(8):9195-204. 2021. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19705.

BRETZINGER, L. F. *et al*. Effect of transition cow health and estrous expression detected by an automated activity monitoring system within 60 days in milk on reproductive performance of lactating Holstein cows. **Journal Dairy Science.** 106(6):4429-42. 2023. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2022-22616.

BURNETT, T. A. *et al*. Effect of estrous expression on timing and failure of ovulation of Holstein dairy cows using automated activity monitors. **Journal Dairy Science.** 101(12):11310-20. 2018. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15151.

CARVALHO, M. R. *et al*. Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows. **Journal Dairy Science.** 102:11701-17. 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17025.

DOBSON, H. S. *et al*. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. **Reprod Domest Anim.** 42(2):17-23. 2007. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00906.x.

FERNANDEZ, N. A. *et al*. Pregnancy loss (28-110 days of pregnancy) in Holstein cows: a retrospective study. **Animals (Basel).** 10(6):925. 2020. http://dx.doi.org/10.3390/ani10060925.

GARNSWORTHY, P. C. *et al*. Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 1. Dietary energy source and ovarian function. **Journal Dairy Science.** 91(10):3814-23. 2008. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1031.

LEBLANC, S. J. Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance: a review. **Vet J.** 176:102-14. 2008. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.019.

LOPEZ, H. S., WILTBANK, M. C. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. **Anim Reprod Sci.** 81(3-4):209-23. 2004. http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.10.009.

LUCY, M. C. Selection for fertility in the modern dairy cow—current status and future direction for genetic selection. **Journal Dairy Science.** 2019; 102:3706-21. 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15544.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science.** 98(10):7003-14. 2015. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9672.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Intensity of estrus following an estradiol-progesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. **Journal Dairy Science.**. 102(4):3598-608. 2019. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15129.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Plasma concentrations of progesterone in the preceding estrous cycle are associated with the intensity of estrus and fertility of Holstein cows. **PLoS One.** 16(3):e0248453. 2021. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0248453.

MARTENS, H. Invited Review: Increasing Milk Yield and Negative Energy Balance: A Gordian Knot for Dairy Cows? **Animals (Basel).** 4:13(19):3097. 2023. https://doi.org/10.3390/ani13193097.

MAYO, L. M. *et al*. Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. **Journal Dairy Science.** 102(3):2645-56. 2019. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-14738.

MIRZAEI, A. M. *et al*. Effect of body condition loss in early lactation Holstein cows on plasma IGF-I, prolactin and NEFA during breeding period and its association with some reproductive indices. **Reprod Domest Anim.** 58(6):778-784. 2023. https://doi.org/10.1111/rda.14350.

OLTENACU, P. A., BROOM, D. M. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. **Anim Welf.** 19(S1):39-49. 2010. https://doi.org/10.1017/S0962728600002220.

PEREIRA, M. H. C. *et al*. Expression of estrus improves fertility and decreases pregnancy losses in lactating dairy cows that receive artificial insemination or embryo transfer. **Journal Dairy Science.** 99(3):2237-47. 2016. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9903.

POHLER, K. G. *et al*. New approaches to diagnose and target reproductive failure in cattle. **Anim Reprod.** 17(3):e20200057. 2020. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0057.

ROELOFS, J. B. *et al*. Effects of insemination-ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. **Theriogenology.** 66(9):2173-81. 2006. http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.07.005.

RUTTEN, C. J. *et al*. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. **Journal Dairy Science.** 96: (4) 1928-1952. 2013. https://doi.org/ 10.3168/jds.2012-6107.

SALES, J. N. S. *et al.* Evolution over the last 40 years of the assisted reproduction technologies in cattle - the Brazilian perspective I - timed artificial insemination. **Anim Reprod.** 21(4):e20240034. 2024. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0034.

SARTORI, R. B. *et al*. Pregnancy loss in cattle with emphasis on embryo transfer programs. **Anim Reprod.** 22(3):e20250045. 2025. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2025-0045.

STANGAFERRO, M. L. *et al*. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: part I. Metabolic and digestive disorders. **Journal Dairy Science.** 99:(9) 7395-7410. 2016. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11352.

STEENSELS, M. M. *et al*. Towards practical application of sensors for monitoring animal health: the effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. **J. Dairy Res.** 84 (2): 132-138. 2017. https://doi.org/10.1017/S0022029917000176.

SUNDRUM, A. Metabolic Disorders in the Transition Period Indicate that the Dairy Cows' Ability to Adapt is Overstressed. **Animals (Basel).** 5(4):978-1020. 2015. https://doi.org/10.3390/ani5040395.

THATCHEr, W. W. *et al*. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. **Theriogenology,** 65:30-44. 2006. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.004.

TIPPENHAUER, C. M. P. *et al*. Factors associated with estrous expression and subsequent fertility in lactating dairy cows using automated activity monitoring. **Journal Dairy Science.** 104(5):6267-82. 2021. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19578.

TIPPENHAUER, C. M. P. *et al*. Association of activity and subsequent fertility of dairy cows after spontaneous estrus or timed artificial insemination. **Journal Dairy Science.** 106(6):4291-305. 2023. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2022-22057.

WALSH, S. W. W., EVANS, A. C. O. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. **Anim Reprod Sci.** 123:127-38. 2011. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.

WILTBANK, M. C. S. *et al*. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. **Theriogenology.** 86(1):239-53. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037.