

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA ALIADA AO  
APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DE  
ESTRO NA SUINOCULTURA**

Janaína Palermo Mendes

CAMPO GRANDE, MS  
2025

MENDES, J.P	TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA ALIADA AO APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DE ESTRO NA SUINOCULTURA	2025
-------------	---	------

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA ALIADA AO  
APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DE ESTRO  
NA SUINOCULTURA**

**INFRARED THERMOGRAPHY COMBINED WITH MACHINE LEARNING IN  
ESTRUS PREDICTION IN PIG FARMING**

**Janaína Palermo Mendes**

**Orientador: Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS  
2025



Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Serviço Público Federal  
Ministério da Educação



**Certificado de aprovação**

JANAÍNA PALERMO MENDES

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA ALIADA AO APRENDIZADO DE MÁQUINA NA PREDIÇÃO DE ESTRO NA SUINOCULTURA**

**INFRARED THERMOGRAPHY COMBINED WITH MACHINE LEARNING IN ESTRUS PREDICTION IN PIG FARMING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 10-12-2025

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Luan Sousa dos Santos  
(UFMS) – Presidente

---

Dr. Jean Kaique Valentim  
(UFRRJ)

---

Dra. Jessica Mansur Siqueira Crusoé  
(UFMG)

---

Dr. Luis Carlos Vinhas Itavo  
(UFMS)

---

Dr. Thiago Rodrigues da Silva  
(UFMS)

**NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC**

\*\*\*\*\*  
**UFMS  
É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Jean Kaique Valentim, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 14:15, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC**

\*\*\*\*\*  
**UFMS  
É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Jessica Mansur Siqueira Crusoé, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 14:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC**

\*\*\*\*\*  
**UFMS  
É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **THIAGO RODRIGUES DA SILVA, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 15:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC**

\*\*\*\*\*  
**UFMS  
É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Luan Sousa dos Santos, Professor do Magisterio Superior**, em 11/12/2025, às 15:31, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC**

\*\*\*\*\*  
**UFMS  
É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Luis Carlos Vinhas Itavo, Professor do Magisterio Superior**, em 11/12/2025, às 18:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6114691** e o código CRC **0D2236D3**.

#### **COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta tese ao meu amigo Henrique Momo Ziemniczak, que dedicou sua vida a pesquisa e a ciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e meus mentores espirituais por terem me protegido e iluminado desde criança até minha vida adulta, e principalmente por terem me direcionado a cada situação vivida. Aos meus pais, pela dedicação e cuidado e apoio emocional, financeiro e principalmente pelo incentivo aos estudos. Aos meus amigos, Dr. Jean Kaique Valentim, Msc. Ariadne Freitas Silva, Amauri Ernani, Tiago Kipper.

Aos meus queridos amigos da iniciação científica, que despenderam de paciência, dedicação, responsabilidade, persistência, amizade, lágrimas e principalmente pelos incentivos, risadas durante todo o período de doutorado, Mauro Renan, Michele Correa, Christian Cunha, Vinicius Trindade e Alyne Matos. A Dra. Marina de Nadai Bonin Gomes e Dra. Susana Teixeira.

Ao meu orientador, Dr. Luan Sousa dos Santos pela dedicação, paciência e compreensão frente aos desafios, sem sua determinação não conseguiria chegar a conclusão do doutorado. A Leila Cristina Salles Moura.

Muito Obrigada

## **Resumo**

MENDES, J.P. Termografia infravermelha aliada ao aprendizado de máquina na predição de estro na suinocultura. 2025.66f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

O objetivo desta tese foi avaliar a utilização da termografia infravermelha na predição de estro na suinocultura. No capítulo 2, foi realizado protocolo de meta-análise para identificar os principais métodos de pesquisa para a avaliação do estro através da utilização da temperatura da vulva, focinho, anus. Foram utilizadas quatro bases de dados (Scopus, Web of Science, Science Direct, PubMed), e aplicado critérios de inclusão (artigos completos na íntegra e em inglês, publicados nos últimos 15 anos) e exclusão dos artigos (resumos publicados em anais, revisões, teses, dissertações, capítulos de livros). Foram selecionados 6 documentos que foram tabulados no software Excel, e extraído informações sobre a temperatura da vulva, anus, focinho e as características dos animais (raça, idade, período do ciclo, horário de coleta). Os resultados indicaram que as medidas das temperaturas, especialmente a infravermelha da vulva, são mais sensíveis às alterações hormonais do estro, enquanto métodos internos, como temperatura retal apresentam maiores riscos devido ao manejo. Porém, quando não há correlação com as análises comportamentais, limita-se a afirmação das mudanças devido as questões de estresse animal, tornando a pesquisa incompleta, sugerindo-se a realização de trabalhos avaliando diferentes pontos anatômicos associados a modelos preditivos, capazes de aumentar a acurácia e reduzir falhas de detecção. No capítulo 3, em resposta ao Capítulo 2, foi avaliado as mudanças na temperatura da superficial do corpo, ocular, ponta das orelhas, peito, dorso, vulva e área perianal de matrizes durante o período de estro por meio da câmera termográfica infravermelha em nove porcas Large White × Landrace. As imagens foram avaliadas por meio do software FLIR termal Studio. Foi realizado o teste de comparação de médias ANOVA e Tukey ( $p < 0,05$ ). Os modelos de aprendizado de máquina supervisionado foram testados usando floresta aleatória, árvores de inferência condicional, mínimos quadrados parciais e vizinhos K-mais próximos, e o desempenho do método foi medido usando uma matriz de confusão. A região orbital mostrou a diferença entre o estado de estro

das porcas. Na matriz de confusão, o algoritmo foi capaz de prever com 87% de precisão o estro das porcas no conjunto de teste contendo 40% dos dados, quando o comportamento agitado foi combinado com a temperatura da área orbital.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina, bem-estar animal, ciclo estral, termografia, manejo no cio.

## **Abstract**

The objective of this thesis was to evaluate the use of infrared thermography as a tool for estrus prediction in swine production. In Chapter 2, a meta-analysis protocol was conducted to identify the main research methods used for estrus evaluation through temperature measurements at different anatomical regions, including the vulva, snout, and anus. Four scientific databases (Scopus, Web of Science, Science Direct, and PubMed) were consulted, applying inclusion criteria (full-text articles published in English within the last 15 years) and exclusion criteria (conference abstracts, reviews, theses, dissertations, and book chapters). At the end of the selection process, six studies were included, and the data were organized in spreadsheets using Microsoft Excel. Information regarding vulvar, anal, and snout temperatures, as well as animal characteristics such as breed, age, estrus cycle stage, and sampling time, was extracted. The results indicated that temperature measurements, especially infrared thermography of the vulvar region, are more sensitive to hormonal changes associated with estrus, whereas internal methods, such as rectal temperature measurement, present higher risks due to handling. However, when not correlated with behavioral analyses, the interpretation of temperature changes is limited by animal stress, rendering the assessment incomplete. Therefore, further studies evaluating different anatomical sites in association with predictive models are recommended to increase accuracy and reduce detection failures. In Chapter 3, in response to the findings of Chapter 2, changes in superficial body temperature, ocular region, ear tips, chest, back, vulva, and perianal area of sows during the estrus period were evaluated using an infrared thermographic camera in nine Large White × Landrace sows. Images were analyzed using FLIR Thermal Studio software. Mean comparisons were performed using ANOVA followed by Tukey's test ( $p < 0.05$ ). Supervised machine learning models, including random forest, conditional inference trees, partial least squares, and k-nearest neighbors, were tested, and model performance was evaluated using a confusion matrix. The orbital region showed significant differences between estrus states. According to the confusion matrix, the algorithm was able to predict estrus with 87% accuracy in the test set containing 40% of the data when agitated behavior was combined with orbital area temperature.

Keywords: Animal welfare, estrus period, machine learning, thermography, temperature.

## **LISTAS DE TABELAS**

### **Capítulo 2**

Tabela 1. Características dos estudos incluídos, conforme a classificação dos artigos.....	36
Tabela 2. Estatística descritiva do conjunto de dados das temperaturas Percentages of observed estrus signs in pre-estrus and estrus phases of sows.....	36

### **Capítulo 3**

Tabela 1. Sinais de estro observados e suas respectivas descrições utilizadas pelo observador.....	44
Tabela 2. Percentuais dos sinais de estro observados nas fases de pré-estro e estro de porcas.....	49
Tabela 3. Temperaturas médias registradas com uma câmera de termografia infravermelha (CTI) e temperatura retal medida com um termômetro clínico digital (TCD) nas fases de pré-estro e estro.....	50
Tabela 4. Matriz de confusão e acurácia com a partição treinamento e teste utilizando o modelo selecionado de random forest.....	52

## **LISTA DE FIGURAS**

### **Capítulo 1**

Figura 1. Correlação hormonal do controle da função reprodutiva.....	15
Figura 2. Demonstração de uma imagem termográfica capturada por uma câmera de termografia infravermelha.....	18

### **Capítulo 3**

Figura 1. Demonstração de uma imagem termográfica capturada por uma câmera de termografia infravermelha.....	46
Figura 2. Importância das variáveis obtidas por Random Forest considerando comportamento agitado e temperatura por termografia infravermelha (IFT) em diferentes regiões do corpo de porcas.....	51

## SUMÁRIO

<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	14
CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA.....	16
FISIOLOGIA REPRODUTIVA.....	17
MANEJO REPRODUTIVO E DETECÇÃO DE CIO NA GRANJA .....	19
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA .....	21
REFERÊNCIAS .....	23
<b>CAPÍTULO II – MUDANÇAS NA TEMPERATURA SÃO CAPAZES DE PREDIZER ESTRO EM MATRIZES SUINAS? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....</b>	30
<b>RESUMO .....</b>	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3. RESULTADOS.....	36
4. DISCUSSÃO .....	37
5. CONCLUSÃO .....	37
6. REFERÊNCIAS .....	38
<b>CAPÍTULO III – TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMBINADO COM O COMPORTAMENTO AGITADO EM PORCAS MELHORAM A DETECÇÃO DO ESTRO QUANDO APLICADOS A ALGORITMOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA SUPERVISIONADO .....</b>	40
<b>RESUMO .....</b>	41
1. INTRODUÇÃO .....	42
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
3. RESULTADOS.....	50
4. DISCUSSÃO .....	54
5. CONCLUSÕES .....	56
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	57
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	61
<b>APÊNDICE A .....</b>	62
<b>PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMATICA .....</b>	62

## **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Na suinocultura, a predição do estro é fundamental no manejo reprodutivo, sobretudo devido à grande variabilidade fisiológica e comportamental apresentada pelas fêmeas. A manifestação do estro varia significativamente em intensidade e duração entre indivíduos, sendo influenciada por fatores de condição corporal, alterações hormonais, estresse e estado sanitário (Soed et al., 2017). Alterações fisiológicas, como anestro pós-desmame prolongado, estro silencioso e irregularidades no ciclo, dificultam a padronização da identificação do estro (Knox, 2016; Schmidt et al., 2013; Kammersgaard et al., 2013), e também os fatores como o estresse térmico, reduzem a responsividade hormonal e atrasam o estro.

As falhas no bem-estar animal, mudanças nas densidades dos alojamentos e falta de enriquecimento, podem modular a expressão dos comportamentos normais durante o período de estro, o que irá resultar na maior dificuldade de identificação dos sinais típicos do estro. (LARSEN et al., 2018), prejudicando tanto a expressão comportamental quanto a ovulação (JOHNSON; STEWART; HEATH, 2020). Portanto, como a detecção convencional do estro é dependente da observação humana, tais fatores geram subjetividade e limitações operacionais. Neste contexto, diante de tais desafios, a zootecnia de precisão constitui campo emergente no monitoramento em tempo real, principalmente dos parâmetros fisiológicos e comportamentais dos animais. O emprego de ferramentas auxiliares se faz necessária para minimizar erros e diminuir prejuízos econômicos.

Assim, a utilização da termografia infravermelha consolidou-se como promissora na zootecnia de precisão, pela capacidade de medir, de forma rápida e minimamente invasiva, através da temperatura superficial dos animais ou pela vulva. Além disso, a associação dos algoritmos de aprendizado de máquina também pode permitir a observação de variações sutis da aplicação da termografia infravermelho, na movimentação e em padrões comportamentais associados ao início do estro. Diante do exposto, a presente tese encontra-se dividida em três capítulos. O capítulo 1 apresenta uma revisão de literatura acerca dos temas abordados, o capítulo 2, intitulado ‘Mudanças na temperatura são capazes de predizer estro em matrizes suínas? Uma revisão sistemática’ apresenta resultados do protocolo de revisão sistemática estabelecido, método utilizado para responder uma questão específica,

permitindo realizar uma síntese de todas as pesquisas e auxiliando na intervenção de solução do problema. E o capítulo 3, intitulado “Combinação da termografia infravermelha e comportamento agitado em porcas melhoram a detecção do estro quando aplicados a algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado.

## **CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA**

## FISIOLOGIA REPRODUTIVA

A eficiência do manejo reprodutivo deve estar associada aos pilares da nutrição, genética, sanidade animal, reconhecimento dos comportamentos sexuais e principalmente sobre as especificações anatômicas e fisiológicas do sistema reprodutivo.

A fisiologia do ciclo estral é dividida em quatro etapas, proestro, estro, metaestro e diestro (Quadro 1). O proestro, é caracterizado pelo crescimento do folículo (devido redução dos níveis de progesterona e elevada concentração de estrógeno), apresentando mudanças anatômicas de edema e secreção vulvar, perda de apetite em decorrência da resposta ovariana às gonadotrofinas hipofisárias (Ferreira., et al., 2014; Geisert et al., 2020).

Quadro 1. Duração das fases durante o período do ciclo dos mamíferos

Fase	Duração
LH	Liberado a cada 75 minutos (50% do pico pré-ovulatório de amplitude, a cada 2-3 horas)
LH (durante fase lútea do ciclo éstrico) *Suínos	Precoce (2 a 8 dias), médio (9 a 12) e tardio (13 a 15)
Folicular	5 a 7 dias
Lútea	14 a 16 dias
Estro	50 a 60 horas, 2 a 3 dias
Metaestro	2 a 3 dias
Diestro	7 a 12 dias
Ovulação	2 a 4 horas

Adaptado de Knox 2015 e Fries et al., 2010

Inicialmente, esta fase ocorre por meio da liberação do GnRH (Figura 1), um decapeptídeo produzido no hipotálamo identificado como neuropeptídeo que regula as secreções da glândula pituitária anterior, desempenha funções de liberação de gonadotrofina (Aponte et al., 2018; Williams et al., 2021). Este hormônio é produzido em órgãos periféricos, como as gônadas e placenta, sendo denominado GnRH extra-hipotalâmico (Hassanein et a., 2024). A família GnRH possui 25 isoformas, (Zhang et

al., 2009), apenas o GnrH I e GnRH II e seus receptores são encontrados em mamíferos.

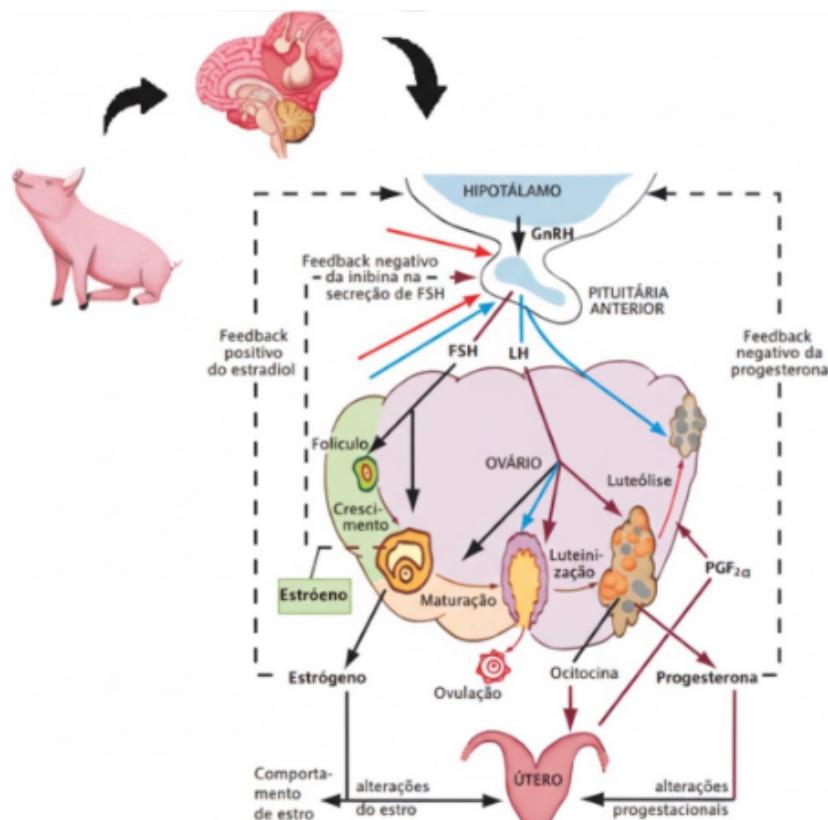


Figura 1. Correlação hormonal do controle da função reprodutiva. Adaptada de Ptaszynska (2007)

Este hormônio influencia regulando produção e liberação de gonadotrofinas hipofisárias, afetando a gametogênese e esteroidogênese, além de coordenar os processos do hormônio luteinizante (LH) (envolve o metaestro e diestro), hormônio folículo estimulante (FSH) que atuam no desenvolvimento folicular e na formação do corpo lúteo (CL) (Orisaka et al., 2020; Wang et al., 2021; Hassanein et al., 2024). Estes hormônios serão liberados pela glândula pituitária, e irão regular a gametogênese e a esteroidogênese.

O estro é caracterizado pela redução do FSH, diminuindo o recrutamento dos folículos, fazendo sincronia com o aumento dos níveis de estradiol, e associado ao pico de LH ocorre a ovulação, encerrando o crescimento do folículo, segundo Frare (2013), a ovulação ocorrerá após 85% do tempo após o estro, ao final do estro, a vulva apresenta-se e secreção esbranquiçada e fluida. O TGF-beta (fator de crescimento transformador beta) e a ativina irão agir como estimuladores do FSH, que

desencadeiam o crescimento inicial dos folículos e realizam feedback positivo e negativo, estrógeno e inibina.

Além disso, na ovulação as matrizes suínas possuem como característica a liberação de 15 a 30 oocistos durante o período estral, o desenvolvimento folicular é dividido em fase pré-folicular, fase folicular, dando início a regressão do corpo lúteo e ovulação (Borchardt et al., 2005; Da Silva et al., 2016)

Após ovulação, de acordo com Knox (2015), irá retornar o processo de meiose e inicia-se a luteinização, reestruturação folicular, sendo possível evidenciar inchaço do folículo, fluxo e forma sanguínea. Ocorrendo posteriormente a redução dos níveis de estrógenos e originando os corpos hemorrágicos (CL), e consequentemente, aumentando os níveis de progesterona, sendo estes eventos caracterizados como metaastro (Frare, 2013). A fase do CL apresenta uma glândula miniendocrina, originada da parede folicular após o processo de ovulação, com duração de 14 dias, nesta fase ocorre hipertrofia e aparecimento do pigmento carotenoide, e liberação da secreção de progesterona (Geisert et al., 2020; Secco e Moya 2021).

Posteriormente, dando início a última fase, diestro, caracterizado pelo desenvolvimento acelerado dos CL maduros associados a altas concentrações de progesterona (Alvarenga et al., 2011). Estes CL irão inibir por feedback negativo a secreção de FSH e LH, e na ausência da gestação, aumenta os níveis de prostaglandina PGF<sub>2</sub>alfa, reduzindo a concentração de progesterona, iniciando um novo ciclo estral.

Desta forma, a matriz suína apresenta ciclos reprodutivos ao longo de todo o ano, com duração de 114 dias de gestação e 21 dias de lactação (podendo variar entre 18 e 24 dias), com fase folicular entre quatro a cinco dias e luteal de 15 a 17 dias. As fêmeas podem produzir em média 2,35 partos por ano, estando 80% do período anual em estádio de gestação (Bortolozzo e Wentz, 2007).

## **MANEJO REPRODUTIVO E DETECÇÃO DE CIO NA GRANJA**

No proestro, ocorrem alterações anatômicas fisiológicas e comportamentais de cobrir outra fêmea (Fries et al., 2010), devido elevação dos níveis de estrogênio circulante (Gore-Langton e Armstrong, 1994), principalmente 17 $\beta$ -estradiol (Silva et al., 2016), que agem no SNC resultando no feedback positivo nas gonadotrofinas. Semelhantemente, no estro, devido aos níveis de estrógenos, as fêmeas continuam

com o comportamento de cobrir, e apresentam reflexo de tolerância ao macho (Knox, 2019). Além disso, as fêmeas apresentam reflexo de imobilidade (Figura 2), que podem ser induzidos pelo reproduutor, a utilização de aerossol sintético com odor de cachaço pode auxiliar na resposta da imobilidade, em casos em que não há o reproduutor.

Durante o período de estro, de acordo com Knox (2018), ocorre alterações graduais de comportamento nas matrizes, sendo observado inquietação, lordose, micção frequente, reflexo de imobilidade, posição estática, orelhas em pé e olhar fixo. As porcas vocalizam intensamente (Secco e Moya, 2021), e as principais alterações fisiológicas, durante o processo de cio, são secreção da mucosa da vulva, enrubescimento intenso vulvar, micção frequente, agitação na alimentação (Knox, 2018). O estrogênio aumenta o fluxo sanguíneo de todo aparelho reprodutivo, ocasionando a hiperemia, elevação da permeabilidade vascular e edema de mucosa (Senger, 2012).

As falhas na identificação da detecção do estro contribuem para atrasos no parto e dias improdutivos das fêmeas nas granjas, resultando em prejuízos econômicos (Mayo et al., 2015). A observação visual do comportamento é um método de detecção que apresenta 80% de confiabilidade (Denis- Robichaud et al., 2016). Na granja, os principais sinais de presença de cio são hiperemia de vulva, reflexo de tolerância ao homem, edema de vulva (ABCS, 2011) sendo esses sinais mais intensos com a presença do rufião na frente da fêmea (Figura 2).

Figura 2. Cachaço para identificação do cio (imagem da esquerda). Matrizes em gaiolas individuais para detecção de cio (imagem da direita).



Acervo pessoal

Outras técnicas de avaliação da detecção do cio incluem temperatura e alterações na resistência do muco vaginal (Roelofs et al., 2005). A associação da temperatura vulvar com as temperaturas corporais pode ser utilizada para favorecer na detecção do estro (Piccione et al., 2003). A aferição da temperatura corporal pode ocorrer por meio sensor de temperatura da superfície e subdérmico da pele, câmera infravermelho, sensor de temperatura timpânica e sensor de temperatura vaginal (Suthar et al. 2013; Mostaço et al. 2015; Lee et al. 2016).

Uma das principais formas disponíveis na literatura para avaliação da temperatura em fêmeas recentemente, tem sido a partir do uso de implantes como data loggers retal e vaginal. Entretanto, o uso de implantes pode alterar a temperatura real das fêmeas, além de causar desconforto no animal. Dessa forma, a termografia apresenta-se como técnica que causa mínimo desconforto e reduz chances de alteração na temperatura corporal no manejo da granja.

## **TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

A mudança de temperatura corporal do animal normalmente ocorre devido alterações na homeostase. Portanto, as alterações na temperatura podem auxiliar no diagnóstico do estro e de outras condições fisiológicas do animal, como doenças e inflamações (Godyn & Herbut, 2017). A câmera termográfica permite a medição com precisão da temperatura de superfícies, porém, a temperatura pode sofrer alterações do ambiente, como umidade e temperatura do ar, sujidades na pele etc. (Cravello, 2008; Ricarte et al., 2014).

A associação da avaliação comportamental e avaliações de imagens térmicas podem auxiliar na melhor precisão de identificação do estro (Marquez et al., 2021). A temperatura corporal tem se mostrado promissora em identificar com precisão o cio, permitindo a fertilização da fêmea no momento adequado na granja (Polit, 2018; Talukder et al., 2014).

A homeostase pode ser regulada por meio da alteração da temperatura corporal (Godyn; Herbut, 2017), assim, há duas formas de temperatura, a central do corpo (com predominância na região abdominal, caixa torácica, crânio) e a temperatura externa (correspondendo aos tecidos subcutâneos, músculo e superfície da pele; Sosnowski et al., 2015).

A termografia infravermelha é uma ferramenta não invasiva e eficiente para detecção de temperaturas simétricas e assimétricas de superfícies, este método possibilita observar as alterações na vascularização dos tecidos e no fluxo sanguíneo. A temperatura da pele reflete o estado do metabolismo do tecido e da circulação sanguínea, padrões térmicos anormais podem significar áreas de inflamação superficial ou deficiências circulatórias (Stelletta et al., 2012).

Na ciência animal, a ferramenta é utilizada como diagnóstico de lesões e demais doenças nos animais de produção (Schmidt et al., 2003). Schaefer et al. (2000) ao avaliarem o vírus da diarreia viral bovina tipo 2 em bezerros, observaram que a termografia foi altamente sensível as alterações térmicas em animais infectados pelo vírus, sendo capaz de detectar o estágio inicial da infecção.

#### *Termografia na reprodução animal*

Na reprodução animal, a termografia facilitou a verificação da fertilidade de bovinos por meio da temperatura dos testículos (Kastelic et al., 1995). Em cadelas e pandas, foi possível diferenciar a gestação e a pseudociese (Durrant et al., 2006). Em gado leiteiro, a termografia facilitou na detecção do estro, sendo possível observar um aumento da temperatura da superfície da vulva de vacas em estro quando comparadas aos animais em diestro (Osawa et al., 2004).

A ovulação também foi verificada em vacas, segundo Talukder et al. (2014) ocorre a diminuição das temperaturas da vulva e do focinho 48 horas antes da ovulação. Essas alterações podem estar relacionadas a regressão do corpo lúteo, por

outro lado, ocorre também o aumento das temperaturas 24 horas antes da ovulação, coincidindo com o momento do estro.

Na suinocultura, a termografia pode diferenciar o cio, de acordo com Sykes (2012), durante o estro o fluxo sanguíneo da vulva aumenta por meio da artéria pudenda interna, sob influência do aumento do hormônio do estradiol circulante, elevando, consequentemente, a temperatura da superfície da vulva.

Durante o ciclo estral, há o aumento do fluxo sanguíneo nos tecidos vulvares promovendo alterações nas temperaturas (Stelletta et al., 2012; Süli et al., 2017), além disso, o aumento da temperatura também ocorreria durante o crescimento folicular e decai durante o estabelecimento do corpo lúteo. Estas alterações de temperatura estão associadas a elevação dos níveis de estradiol durante a produção dos folículos pré ovulatórios. Em suínos, o pico de estradiol ocorre entre 24 a 48 horas antes do início do estro (Worwood et al., 2007).

Pesquisadores ao avaliarem porcas mestiças Yorkshire × Landrace por meio do uso da câmera térmica infravermelha durante períodos de estro e diestro, observaram que as temperaturas da vulva foram maiores (35,6 e 31,8°C, respectivamente; Sykes et al., 2012). Semelhantemente, Simões et al. (2014), ao observarem a relação entre as variações da temperatura vulvar em porcas Large White × Landrace, com uso da termografia, notaram temperaturas médias de 31,7 durante o estro e 32,3 no proestro. Ainda na suinocultura, Chem et al. (2022), observaram em marrãs, a temperatura termográfica infravermelha média vulvar durante estro de 34,5 °C e no proestro de 33,7°C, apresentando diferença de 0,8°C.

Na bovinocultura também é possível realizar a verificação das alterações significativas durante o ciclo, Talukder et al. (2021) encontraram alterações nas temperaturas do focinho e vulva, de acordo os intervalos médios do desvio padrão durante o início e término do estro até a ovulação foram de  $30,7 \pm 8,2$  e  $13,3 \pm 7,7$  horas, respectivamente, sendo possível observar a ovulação entre 24 e 47 horas após o início da verificação do estro.

## REFERÊNCIAS

ABCS. Associação brasileira de criadores de suínos. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos.** 1<sup>a</sup> ed. Concordia, 2011.

APONTE, P.M., GUTIERREZ-REINOSO,M.A., SANCHEZ-CEPEADA, E.G., GARCIA-HERREROS, M. Active immunization against GnRH in pre-pubertal domestic mammals: testicular morphometry, histopathology and endocrine responses in rabbits, guinea pigs and ram lambs. **Animals**, v.12:4, p. 784-793, 2018. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002129>

FERREIRA, A. Produção de suínos, Teoria e prática. O estro na leitora: diagnóstico e manejo eficiente. **Produção de suínos: Teoria e prática.** Associação Brasileira de Criadores de Suínos. 1° edição. Brasilia, 2014.

CRAVELLO, B., FERRI, A. Relationships between skin properties and environmental parameters. **Skin Research Technology**. v.14, p.180–186, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00275.x>

CHEM, V., MUN, H., AMPODE, K.M.B., MAHFUZ, S., CHUNG, I., DILAWAR, M.A., YANG, C. Heat detection of gilts using digital infrared thermal imaging camera. **Advances in animal and Veterinary Sciences**, v.10 p. 2142-2147, 2022. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.10.2142.2147>

DA SILVA, C.A., BRAND, H., LAURENSSEN, B.F.A., BROEKHUIJSE, M.L.W.J., KNOL, E.N.F., KEMP, B., SOED, N.M. Relationship between ovulation rate and embryonic and placental characteristics in multiparous sows ant 35 days of pregnancy. **Animals**, v.10, n.7, p.1192-1199, 2016.<https://doi.org/10.1017/S175173111600015X>

DENIS-ROBICHAUD, J., CERRI, R.L.A., JONES-BITTON, A., LEBLANC, S.J. Survey of reproduction management on Canadian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 99 (11), 9339–9351, 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11445>.

DURRANT, B.S., RAVIDA, N., SPADY, T., CHENG, A. New technologies for the study of carnivore reproduction. **Theriogenology**, v. 66, p.1729 -1736, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.02.046>.

FRARE, A.L., PONTILI, A.D., BINI, D., JACOBOVSKI, D.A., TEIXEIRA, E.,

MALHERBI, G., MEIRELLES, C. Ciclo estral em suínos. **Faculdade Assis Gurgaz**. Cascavel, Paraná, p.1-9, 2013.

GEISERT, R.D., SUTVOSKY,P., LUCY, M.C., BARTOL, F.F., MEYER, A.E., Rodney, D. Reproductive physiology of swine. **Theriogenology**, v.5, p. 263-281, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00015-X>.

GORE-LANGTON, R.E., ARMSTRONG, D.T. Reproductive processes and their control. In: Knobil E. & Neill J.D. (Eds). **The Physiology of Reproduction**. New York: Raven Press, p.571-627, 1994. **The Physiology of Reproduction**. 2ed. New York: Raven Press, 1994.

Godyn,D., HERBUT, P. Applications of continuous body temperature measurements in pigs – a review. **Animal Science**, v. 56, p.209-220, 2017. <https://doi.org/10.22630/AAS.2017.56.2.22>.

HASSANEIN, E.M., SZELÉNYI, Z., SZENCI, O. Gonadotropin-Releasing Hormone (GnRH) and Its Agonists in Bovine Reproduction I: Structure, Biosynthesis, Physiological Effects, and Its Role in Estrous Synchronization. **Animals**, v.14, 1473, 2024. <http://doi.org/10.3390/ani14111575>

JONES, M., DENSON, A., WILLIAMS, E., GRAVES, K., DOS SANTOS, A, KOUBA, A. Assessing pregnancy status using digital infrared thermal imaging in Holstein dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.88,p.41, 2005.

KASTELIC, J.P., COULTER, G.H., COOK, R.B. Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular and intraepididymal temperatures in bulls. **Theriogenology**, v.44, p.147–152, 1995. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)00155-2](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00155-2)

KNOX, R.V. Recent advancements in the hormonal stimulation of ovulation in swine. **Veterinary Medicine. Research and Reports**, v.6, p.309-320, 2015. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S68960>

KNOX, R.V. Physiology and endocrinology symposium: Factors influencing follicle development in gilts and sows and management strategies used to regulate growth for control of estrus and ovulation. **Journal of Animal Science**, v.97(4), p.1433 – 1445, 2019. <https://doi.org/10.1093/jas/skz036>

LEE, Y., BOK, J.D., LEE , H. J., LEE, H.G., KIM, D., LEE, I., KANG, S. K. CHOI, Y.J. Body. Body Temperature Monitoring Using Subcutaneously Implanted Thermo-loggers from Holstein Steers. **Asian-Australas Journal of Animal Science.** v.29, p. 299–306, 2016.<https://doi.org/10.5713/ajas.15.0353>

MAYO, L.M. Assessing the efficacy of automated detection of estrus in dairy cattle. **Master thesis**, Animal and Food Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY, USA, p.127, 2015.

MOSTAÇO, G.M., MIRANDA, K.O.D.S., CONDOTTA, I.C.F.D.S., SALGADO D.D. Determination of piglets' rectal temperature and respiratory rate through skin surface temperature under climatic chamber conditions. **Revista de Engenharia Agrícola.** v.35 (6): p.979–989, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p979-989/2015>

SECCO, P.M., MOYA, C.F. Anatomia e fisiologia reprodutiva da fêmea suína: uma revisão. **Suinocultura e Avicultura: do básico a zootecnia de precisão**, p.42-55, 2021. <https://doi.org/10.37885/210203125>

SIMÕES, V.G., LYAZRHI, F., PICARD-HAGEN, N., GAYRARD, V., MARTINEU, G., WARET-SZKUTA, C. Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. **Theriogenol**, p.1080-1085, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.017>.

STELLETTA, V.G., LYAZRHI, F., PICARD-HAGEN, N., GAYRARD, V., MARTINEU, G., WARET-SZKUTA, C. Thermographic applications in veterinary medicine. In: Prakash RV, editor. Infrared thermography. **Rijeka: InTech**, p. 117–40, 2012. <https://doi.org/10.5772/29135>

SUTHAR, C., GIANESELLA, M., VENCATO, J., FIORE, E., MORGANTE, M. Agreement between rectal and vaginal temperature measured with temperature loggers in dairy cows. **Journal of Dairy Research**, v.80 (2), p.240–245, 2013. <https://doi.org/10.1017/S0022029913000071>.

SÜLI, T., HALAS, M., BENYEDA, Z., BODA, R., BELÁK, S., MARTÍNEZAVILÉS, M., FERNÁNDEZ-CARRIÓN, E., SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J.M. Body temperature

and motion: Evaluation of an online monitoring system in pigs challenged with Porcine Reproductive & Respiratory Syndrome Virus. **Research Veterinary Science**, v.114, p.482–488, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.09.021>

SYKES, D.J., COVILLION, J.S., CROMIAK, A., BOWERS, S., SCHENCK, E., CRENSHAW, M., RYAN, P.L. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. **Theriogenology**, p.147-152, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.030>.

OSAWA, T.M., MORIMATSU, M., HASHIZUME, K., SYUTO, B. Use of infrared thermography to detect the change in the body surface temperature with estrus in the cow. Proceedings from the Society for Theriogenology Annual Conference, **Journal of Animal Science**, v.96, p. 1-4, 2004

PICIONE, G., GAOLA, G., REFINETTI, R. Daily and estrous rhythmicity of body temperature in domestic cattle, **Biomed Cent Physiol**, v.3,p.1-8, 2003. <https://doi.org/10.1186/1472-6793-3-7>

POLIT, M., RZĄSA, A., RAFAJŁOWICZ, W., NIŻAŃSKI, W. Infrared technology for estrous detection in Chinchilla lanigera. **Animal Reproduction Sciene**, v.197, p.81–86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.012>

ROELOFS, J.B., EERDENBURG, F.J., SOEDE, N.M., KEMP, B. Various behavioural signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. **Theriogenology**, v.63, p.1366-1377, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.07.009>.

RICARTE, A.R.F., FAÇANHA, D.A.E., COSTA, L.L.M. Possibilidades na utilização da termografia infravermelha no diagnóstico reprodutivo de caprinos. **Acta Veterinaria Brasilica**. v.8, p.380–384, 2014. <https://doi.org/10.21708/avb.2014.8.0.3956>.

SCHAEFER, A. L., COOK, N., TESSARO, S. V., DEREGT, D., DESROCHES, G., DUBESKI, P. L., TONG, A. K. W. AND GODSON, D. L. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. **Canadian Journal Animal Science**, v.84, p.73–80, 2004. <https://doi.org/10.4141/A02-104>

SCHMIDT, S., BOWERS, S., GRAVES, K., CARROLL, R., WHITE, J., WILLARD, S. Use of infrared thermography to assess thermal temperature gradients and pathologies of the bovine claw. **ASAS/ADSA national meeting**. Phoenix, p.88, 2003

SENGER,P.L. **Pathways to Pregnancy and Parturition**, 3 ed. Washington: Current Conceptions, 2012.

SOEDE, N., KEMP, B. Expression of oestrus and timing of ovulation in pigs. **Journal of Reproduction and Fertility Supplement**, v.52, p.91-103, 1997.

STELLETTA, C., GIANESELLA, M., VENCATO, J., FIORE, E.,MORGANTE, M. Thermographic Applications in Veterinary Medicine. **Infrared Thermography**, p.18-31, 2012. <https://doi.org/10.5772/29135>

SYKES, D. J., COUVILLION, J. S., CROMIAK, A., BOWERS, S., SCHENCK, E., CRENSHAW, M., RYAN, P. L. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. **Theriogenology**, v.78(1), p.147–152, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012>

TALUKDER, S., KERRISK, K. L., INGENHOFF, L., THOMSON, P. C., GARCIA, S. C., CELI, P. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v.81(7), p.925–935, 2014. doi:10.1016/j.theriogenology.2014

ZHANG, L., TELLO, J.A., ZHANG, W., TSAI, P.S. Molecular cloning, expression pattern, and immunocytochemical localization of a gonadotropin-releasing hormone-like molecule in the gastropod mollusk, *Aplysia californica*. **Gen Comp Endocrinol**, v. 156, p.201–209, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2007.11.015>.

WANG, H.Q., ZHANG, W.D., YUAN, B., ZHANG, J.B. Advances in the Regulation of Mammalian Follicle-Stimulating Hormone Secretion. **Animals**, v.11, p.1134, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11041134>

WILLIAMS, L.G., CARDOSO, R.C. Neuroendocrine Control of Estrus and

Ovulation. In Bovine Reproduction; **Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA**, p. 269–292, 2021. ISBN 9781119602361

WORWOOD, D. Swine artificial insemination for beginners: heat detection. **Agricultura**, p.1-3, 2007

## **CAPÍTULO II – MUDANÇAS NA TEMPERATURA SÃO CAPAZES DE PREDIZER ESTRO EM MATRIZES SUINAS? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

**Artigo redigido seguindo as normas do programa de pós-graduação**

# MUDANÇAS NA TEMPERATURA SÃO CAPAZES DE PREDIZER ESTRO EM MATRIZES SUINAS? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

## RESUMO

Objetivou-se identificar as principais alterações de temperaturas vulvar e corporal de matrizes suínas por meio da temperatura termográfica infravermelho, para predição do estro. Foi elaborado um protocolo de revisão sistemática, traçando a estratégia mnemônica PICOS e a utilizando como critério de elegibilidade, para elaboração da questão da pesquisa. Onde (P): Suínos, matrizes suínas em fase de estro, I: Predição do estro com medição de temperaturas, C: Ciclo estral, O: Termografia infravermelho, temperatura corporal, temperatura da vulva, comportamento animal, S: Experimento *in vivo*. Assim, foi elaborado a questão da pesquisa “É possível predizer o estro através da medição da temperatura da vulva e do corpo?”. Foram utilizadas as bases de dados PubMed, Scopus, Science Direct, Web of Science. A pesquisa ocorreu até 01 de junho de 2025. Foram selecionados 6 artigos de interesse para responder à questão. Foram avaliados os parâmetros térmicos, temperatura corporal (TC), retal (TR), termografia infravermelha da vulva (TIV), e termografia infravermelha retal (TIR). Os resultados demonstraram que a TIV apresentou a maior variabilidade superficial (média de  $33,47 \pm 1,77^{\circ}\text{C}$ ), refletindo a sensibilidade da região vulvar às alterações hemodinâmicas induzidas pelos estrogênios durante o estro. A TR exibiu média de  $38,42 \pm 0,89^{\circ}\text{C}$ . A TIR apresentou maior variação entre as técnicas superficiais ( $35,2 \pm 2,35^{\circ}\text{C}$ ), indicando maior sensibilidade a fatores ambientais. Em conjunto, os achados evidenciam que medidas térmicas, especialmente a termografia vulvar, são ferramentas promissoras para predizer o estro de forma não invasiva, podendo integrar sistemas de zootecnia de precisão voltados à automação do manejo reprodutivo em suínos. As aferição das temperaturas são capazes de predizer o estro em porcas, aumentando a eficiência de detecção em até 90% quando comparado a detecção visual.

**Palavras-chave:** bem-estar, estro, suinocultura, zootecnia de precisão.

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to identify the main changes in vulvar and body temperatures of sows using infrared thermography for estrus prediction. A systematic review protocol was developed, applying the PICOS mnemonic strategy as an eligibility criterion to formulate the research question. Where (P): swine, sows in the estrus phase; (I): estrus prediction through temperature measurements; (C): estrus cycle; (O): infrared thermography, body temperature, vulvar temperature, animal behavior; and (S): in vivo experiments. Based on this framework, the research question was formulated as: "Is it possible to predict estrus through the measurement of vulvar and body temperatures?". The databases PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Web of Science were searched, with studies published up to June 1, 2025. Six articles were selected as relevant to address the research question. Thermal parameters evaluated included body temperature (BT), rectal temperature (RT), infrared thermography of the vulva (IVT), and infrared rectal thermography (IRT). The results demonstrated that IVT exhibited the greatest superficial variability (mean of  $33.47 \pm 1.77$  °C), reflecting the sensitivity of the vulvar region to hemodynamic changes induced by estrogen during estrus. RT showed a mean value of  $38.42 \pm 0.89$  °C. IRT presented the highest variation among superficial techniques ( $35.2 \pm 2.35$  °C), indicating greater sensitivity to environmental factors. Overall, the findings indicate that thermal measurements, particularly vulvar thermography, are promising non-invasive tools for estrus prediction and may be integrated into precision livestock farming systems aimed at automating reproductive management in swine. Temperature measurements were able to predict estrus in sows, increasing detection efficiency by up to 90% compared with visual detection methods.

**Keywords:** estrus, precision livestock farming, swine production, welfare.

## **1. INTRODUÇÃO**

A eficiência reprodutiva é um dos principais determinantes da produtividade na suinocultura, influenciando no desempenho econômico e na viabilidade dos sistemas de produção, o sucesso reprodutivo está na detecção precisa da fase de estro, etapa fundamental para o manejo adequado da inseminação artificial e para a maximização das taxas de fertilidade. No entanto, a identificação do ciclo estral em matrizes suínas

apresenta desafios significativos (Mayo et al., 2015; Geisert et al., 2020). Durante o ciclo estral, ocorrem diversas alterações fisiológicas que alteram a endocrinologia, resultando em mudanças na termorregulação, alterando as temperaturas interna e superficial do corpo (Kotsymbas et al., 2019; Heuwiser, 2012).

Nas fases de proestro e estro ocorre os aumentos dos níveis de estradiol, originando a vasodilatação periférica, e a intensificação do fluxo sanguíneo cutâneo, e consequentemente, elevando a temperatura superficial, principalmente na região vulvar e perineal (Knox et al., 2019). Este evento explica a hiperemia da vulva.

Por um outro lado, nas fases de metaestro e diestro, a progesterona circulante reduz a vasodilatação e favorece a conservação de calor, diminuindo a temperatura (Geisert e White, 2018). Desta forma, esta revisão sistemática tem como objetivo identificar as mudanças e o monitoramento de diferentes temperaturas interna e superficial de matrizes suínas durante o ciclo estral.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### *2.1 Critérios de Elegibilidade*

A revisão sistemática foi realizada seguindo a metodologia determinada por Moher et al. (2009). Inicialmente foi elaborado um protocolo de maneira a facilitar a extração dos dados coletados dos artigos científicos, foi aplicado a questão norteadora “É possível predizer o estro em matrizes suínas através do monitoramento das temperaturas corporais?”, e posteriormente, foi definido os PICOS como critérios de elegibilidade, onde:

P: Suínos, matrizes suínas em fase de estro

I: Predição do estro com medição de temperaturas

C: Ciclo estral

O: Termografia infravermelho, temperatura corporal, temperatura da vulva, comportamento animal

S: Experimento *in vivo*

*Bases de informação*

A estratégia de pesquisa foi realizada utilizando a busca eletrônica em quatro bases de dados, *PubMed*, *Science Direct*, Scopus, e Web of Science. O acesso foi realizado pelo Portal Periódicos CAPES através do próx da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS, Brasil), até 01 de junho de 2025. As Palavras-chave selecionadas foram: "sow", "estrus", "thermography", "behaviour" OR "behaviour", "temperature". Posteriormente, realizou-se o cruzamento simples entre as palavras-chave sendo eles: Simples = palavra-chave AND palavra-chave AND palavra-chave AND palavra-chave AND palavra-chave. Desta forma, a busca foi realizada de maneira igualitária em todas as bases de dados:

PubMed :("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature"); Science Direct : ("Sow") AND ("Estrus") AND ("Thermography") AND ("Behavior" OR "Behaviour"); SCOPUS: ("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature"); Web of Science: ("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature")

## 2.2 Registros da pesquisa

### 2.2.1 Gerenciamento dos dados

Os artigos encontrados foram importados para o software de gerenciamento de bibliografia *Mendeley* de maneira a reduzir duplicações de trabalhos. A triagem e delineamento da extração dos estudos foram realizados em planilha do software *Microsoft Excel*.

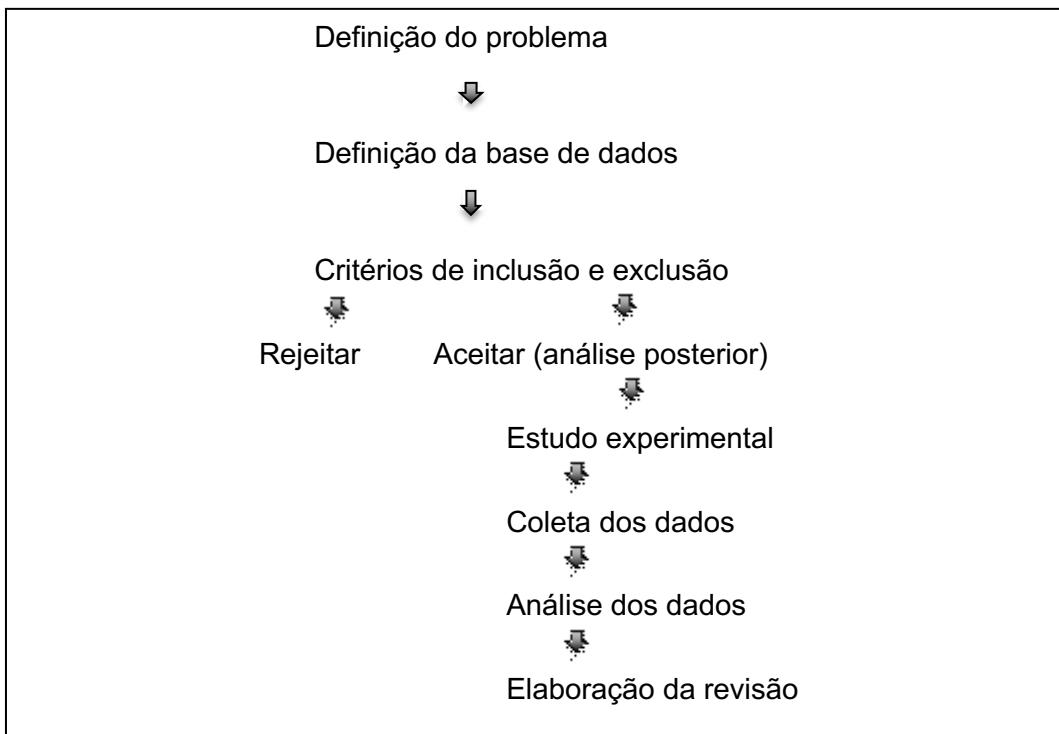


Figura 1. Fluxograma da construção da revisão

### 2.2.2 Processo de seleção

Os textos completos de todos os artigos selecionados passaram por uma primeira filtragem, considerando os critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de inclusão foram artigos completos na íntegra (artigos duplicados foram considerados apenas uma vez), e que apresentassem delineamento experimental, sem recorte temporal e publicados em qualquer idioma. Foram excluídos resumos, trabalhos de revisão bibliográfica, opinião de pesquisadores, teses, dissertações, livros e capítulos de livros, resenhas. Todo o processo de triagem e coleta foram realizadas por dois revisores.

### 2.2.3 Coleta dos dados

Os dados foram tabulados em planilha do software *Microsoft Excel*. As informações dos artigos foram extraídas de tabelas que compararam a temperatura da vulva, focinho, anus, incluindo as características dos animais (raça, idade, período do ciclo, horário de coleta).

### 2.2.4 Critérios dos dados

Nesta fase foram selecionados instrumentos que obtivessem informações sobre a identificação da publicação (título, base de dado, autores, país, idioma, ano de publicação), nome do periódico, aspecto da metodologia aplicada, informações sobre o uso temperatura da vulva na detecção de estro, comportamento animal durante fase de estro e conclusões do estudo.

Foram classificados como “Não se aplica” as variáveis *outcomes* e prioridades, mas risco de viés em estudos individuais, síntese de dados e confiança na evidência cumulativa e o para o meta-viés foram utilizados apenas estudos randomizados publicados em periódicos revisados por pares *Outcomes e prioridade*.

### 3. RESULTADOS

Os estudos incluíram 355 animais, com variação de linhagens dos animais (Tabela 1). Não foi possível avaliar as temperaturas oculares e corporais devido a quantidade mínima de dados, sendo possível encontrar somente um estudo correlacionado com temperatura corporal em período de estro, onde os animais apresentaram 38,7C de temperatura. Para a classificação final dos artigos selecionados, foi possível filtrar 6 artigos aptos (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos estudos incluídos, conforme a classificação dos artigos

Autores/ ano	Total de animais	País	Cruzamento
Chem et al.2022	14	Coreia	Landrace White x Yorkshire
Luño et al.2013	22	Espanha	Landrace x Large White
Sykes et al.2012	32	Estados Unidos	Yorkshire/Landrace
Simões et al.2014	36	França	Large White x Landrace
Scolari et al.2010	52	Estados Unidos	Yorkshire × Landrace
Stiehlert et al.2015	199	Berlim	Não informado

Os animais avaliados com câmera termográfica infravermelha apresentaram menores médias e valores máximos e mínimos, quando comparados a aferição com termômetro digital retal (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva do conjunto de dados das temperaturas

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
TR	37,5	38,83	38,36	0,70

TIV	30,7	35,6	33,27	1,77
TIR	32,8	37,5	35,2	2,37

Temperatura retal (TR); Termografia infravermelha da vulva (TIV); Termografia infravermelha retal (TIR).

#### 4. DISCUSSÃO

As temperaturas retais apresentaram média de 38,36 °C, com variação de 37,50 a 38,83 °C. De acordo com Worwood et al. (2007), durante as fases de estro e proestro, ocorre a variação de 0,3 a 1,0 °C na temperatura, devido a ação termogênica do hormônio estrogênio e o aumento da taxa metabólica basal. Porém, o manejo durante a verificação da temperatura retal é considerado invasivo e pode tornar-se ineficiente devido ao estresse animal. Segundo Silva et al. (2020) o estresse durante o manejo altera a fisiologia animal.

Durante o processo de estresse, ocorre alterações neuroendócrinas (Schaefer e Faucitano, 2008) aumentando cortisol plasmático (Muns et al., 2016). Em situações de estresse, ocorre a redução da temperatura corporal, segundo Blessing (2003), isto é possível porque o sangue é desviado do capilar cutâneo via vasoconstrição, ocasionado pela ativação simpática (Broom e Fraser, 2015).

Por um outro lado, as imagens termográficas são consideradas menos invasivas e causam menos estresse. Neste estudo, as imagens da vulva apresentaram maiores variabilidades entre as demais temperaturas avaliadas, com média de 33,27 °C e desvio-padrão de 1,77 °C. Este fato pode ser explicado porque a região vulvar apresenta aumento do fluxo sanguíneo durante mudança da fase do ciclo (Sikes et al., 2012). Os valores máximos encontrados (35,6 °C) podem estar relacionados aos períodos de hiperemia vulvar associados ao pico estrogênico, corroborando com Simões et al. (2021), que descreve aumento de até 2 °C na superfície da vulva durante o estro.

#### 5. CONCLUSÃO

As medições das temperaturas destacaram-se como o métodos responsivos às alterações associadas ao estro, a integração de ferramentas de precisão pode contribuir com a detecção do estro mais rápida, otimizando o tempo e a eficiência.

Concluindo-se que houve implicação do aumento dos acertos de 80% com a identificação manual, para 90%, favorecendo na produtividade, melhorando os índices zootécnicos. Sugere-se realização de trabalhos que façam a correlação da termografia em diferentes pontos como, olhos, orelhas, região vulvar e perianal associado a variável comportamental e aplicados algoritmos mais modernos no processamento dos dados, como forma de minimizar erros.

## 6. REFERÊNCIAS

- BLESSING, W.W. Lower brainstem pathways regulating sympathetically mediated changes in cutaneous blood flow. *Cellular and Molecular Neurobiology*, v.2, p.527–38, 2003. <https://doi.org/10.1023/a:1025020029037>
- BROOM, D.M., FRASER, A.F. **Domestic animal behaviour and welfare**. 5 ed. Wallingford: CABI, 2015.
- CHEM, V., MUN, H., AMPODE, K.M.B., MAHFUZ, S., CHUNG, I., DILAWAR, M.A., YANG, C. Heat detection of gilts using digital infrared thermal imaging camera. **Advances in animal and Veterinary Sciences**, v.10 p. 2142-2147, 2022. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.10.2142.2147>
- GEISERT, R.D., SUTVOSKY, P., LUCY, M.C., BARTOL, F.F., MEYER, A.E., Rodney, D. Reproductive physiology of swine. **Theriogenology**, v.5, p. 263-281, 2020.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00015-X>.
- GEISERT, R.D., WHITE, F.J. Establishment of pregnancy in the pig: interactions between embryo and endometrium. **Theriogenology**, v. 113, p. 6–12, 2018. <https://doi.org/10.1095/biolreprod27.4.925>
- KNOX, R.V. Recent advancements in the hormonal stimulation of ovulation in swine. **Veterinary Medicine. Research and Reports**, v.6, p.309-320, 2015. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S68960>
- KNOX, R.V. Physiology and endocrinology symposium: Factors influencing follicle development in gilts and sows and management strategies used to regulate growth for control of estrus and ovulation. **Journal of Animal Science**, v.97 (4), p.1433 – 1445, 2019. <https://doi.org/10.1093/jas/skz036>

KRAELING, R.R., WEBEL, S.K. The reproductive neuroendocrinology of the pig. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 52, p. 30–43, 2015.

MAYO, L.M. Assessing the efficacy of automated detection of estrus in dairy cattle. **Master thesis**, Animal and Food Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY, USA, p.127, 2015.

MUNS, R., MALVIDVK, J., LARSEN, M.L.V. High environmental temperatura around farrowing induce stress in crated sows. **American Society of Animal Science**. v.94 (1), p.377-384, 2016. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9623>

SILVA, C.A., BORTOLOZZO, F.P., WENTZ, I. Biotécnicas aplicadas ao manejo reprodutivo de matrizes suínas. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 44, n. 1, p. 48–56, 2020.

SIMÕES, V.G., LYAZRHI, F., PICARD-HAGEN, N., GAYRARD, V., MARTINEU, G., WARET-SZKUTA, C. Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. **Theriogenol**, p.1080-1085, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.017>.

SCHEFER, A.L., FAUCINATO, L. Welfare of pigs: From birth to slaughter. Wageningen Academic Publishers, **Netherlands**, p.315, 2008

SIKES, D.J., COUVILLION, J.S., CROMIAK,A. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. **Theriogenology**, v.78, p.147–152, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.030>.

TALUKDER, S., KERRISK, K. L., INGENHOFF, L., THOMSON, P. C., GARCIA, S. C., CELI, P. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v.81(7), p.925–935, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014>

WORWOOD, D. Swine artificial insemination for beginners: heat detection. **Agricultura**, p.1-3, 2007

**CAPÍTULO III – TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMBINADO COM O  
COMPORTAMENTO AGITADO EM PORCAS MELHORAM A DETECÇÃO DO  
ESTRO QUANDO APPLICADOS A ALGORITMOS DE APRENDIZADO DE  
MÁQUINA SUPERVISIONADO**

Este artigo foi redigido seguindo as normas da revista *Animals*

Termografia infravermelha combinada com o comportamento agitado em porcas melhoram a detecção do estro quando aplicados a algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado

### **Resumo Simples**

A detecção do estro permite maior sucesso reprodutivo com a inseminação artificial. Assim, avaliar mudanças na temperatura da superfície corporal pode fornecer um modelo preciso para predizer a ocorrência do estro. Nove porcas cruzadas LW × LD foram estudadas neste estudo piloto, e imagens termográficas foram coletadas após o desmame e em porcas submetidas a um protocolo de indução hormonal. Os resultados mostram que existem diferenças significativas de temperatura entre o pré-estro e o estro, sugerindo seu potencial como indicador de mudanças na temperatura interna durante o estro, com 87% de acurácia na identificação do estro. Portanto, são bons indicadores para determinar o estro em porcas

### **Resumo**

A identificação do estro no momento adequado permite maior sucesso de fecundidade com a inseminação artificial. Avaliar mudanças na da superfície corporal de porcas durante o período de estro usando uma temperatura câmera de termografia infravermelha (CTI) pode fornecer um modelo preciso para predizer essas alterações. Este estudo piloto incluiu nove porcas cruzadas Large White × Landrace, gerando 59 registros de dados para análise. Mudanças observadas nos sinais comportamentais e fisiológicos das porcas permitiram a identificação do estro. Imagens da região ocular, pontas das orelhas, mama, dorso, vulva e região perianal foram coletadas com a ITC. As imagens foram analisadas usando o software FLIR Thermal Studio Starter. As temperaturas médias infravermelhas foram obtidas e comparadas usando ANOVA e testes de Tukey-Kramer ( $p<0,05$ ). Modelos supervisionados de aprendizado de máquina foram testados utilizando Random Forest (RF), árvores de inferência condicional (Ctree), partial least squares (PLS) e K-Nearest Neighbors (KNN), e o desempenho dos métodos foi avaliado por meio de uma matriz de confusão. A região orbital apresentou diferenças significativas entre os estados de estro e não estro nas porcas. Na matriz de confusão, o algoritmo previu o estro com 87% de acurácia no conjunto de teste, que continha 40% dos dados, quando o comportamento agitado foi

combinado com a temperatura da região orbital. Esses achados sugerem o potencial de integrar observações comportamentais e fisiológicas com termografia orbital e aprendizado de máquina para detectar estro de forma precisa em porcas sob condições de campo.

**Palavras-chave:** aprendizado de máquina, detecção do estro, imagem térmica, mudança de comportamento, termografia infravermelho

## 1. Introdução

A identificação precisa do estro em porcas impacta significativamente a produtividade reprodutiva, reduzindo as chances de retorno ao estro, repetições de cobertura e o número de dias não produtivos das fêmeas no rebanho. No entanto, a detecção do estro frequentemente demanda intenso trabalho, além de experiência e observação cuidadosa por parte dos funcionários nas granjas comerciais de suínos. Durante o estro, as porcas apresentam mudanças comportamentais e fisiológicas distintas, essenciais para uma detecção precisa.

Entre os indicadores comportamentais estão: aumento da agitação, tentativas frequentes de monta, redução da ingestão alimentar e vocalizações todos influenciados pelos níveis elevados de estrogênio e pela receptividade da fêmea ao cachaço [1,2]. Os sinais fisiológicos, como inchaço vulvar (edema), vermelhidão (hiperemia) e secreção mucosa, resultam de alterações vasculares induzidas pelo estrogênio no trato reprodutivo [2,3]. Entretanto, diferenças individuais e relacionadas à ordem de parto podem afetar a expressão desses sinais, levando a diagnósticos incorretos quando se depende apenas da inspeção visual [4].

Abordagens alternativas baseadas em tecnologia vêm sendo estudadas para detecção do estro, como o uso de câmeras de termografia infravermelha (CTI), uma ferramenta sem contato para avaliar a temperatura da superfície corporal dos animais [5,6]. Diversos estudos utilizaram a termografia infravermelha para detectar estro em diferentes espécies, incluindo bovinos [7,8], búfalos [9], cabras [10] e ovelhas [11], com resultados promissores. Em porcas, a ITC tem sido utilizada para predizer o estro e otimizar o momento da inseminação artificial [6,12–14]. Essa ferramenta pode detectar mudanças fisiológicas associadas ao estro, período no qual as temperaturas

superficiais tendem a se elevar [14], geralmente na faixa de 37,0 a 39,6 °C em porcas [15].

A inteligência artificial (IA) também tem sido estudada para aplicação na predição do estro, utilizando ferramentas de machine learning (ML) e deep learning. Por meio desses modelos, estudos têm conseguido predizer o estro com base em dados como tamanho da vulva e mudanças posturais de porcas [16], comportamento de cabras [17], vocalização de vacas [18] e comportamento alimentar [19]. Esses modelos oferecem alta interpretabilidade e adaptabilidade, especialmente em conjuntos de dados pequenos e com tipos de variáveis mistos. Quando combinados com dados de temperatura ou comportamento, esses algoritmos fornecem ferramentas confiáveis para a classificação do estro e suporte à tomada de decisão em condições de campo [20].

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da ITC na detecção de diferenças de temperatura em porcas durante o estro em distintas regiões corporais, bem como testar o desempenho de modelos supervisionados de ML na classificação do status de estro com base em indicadores termográficos e comportamentais.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Animais e instalações

O estudo foi realizado no setor de produção de suínos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Brasil. Um total de 59 informações pré-classificadas de porcas mestiças Large White × Landrace (30 em não estro e 29 em estro) foi coletado após o desmame e/ou após submissão do protocolo hormonal para sincronização do estro.

As porcas foram alojadas em baias individuais com piso de concreto, localizadas em uma instalação experimental de suínos naturalmente ventilada durante o inverno. Cada baia era equipada com um bebedouro tipo chupeta de aço inoxidável e um comedouro de concreto embutido na parte frontal da instalação. As baias eram totalmente separadas para evitar contato físico entre os animais, mas permitiam interação visual e olfativa sem obstruções.

A limpeza rotineira era realizada diariamente para garantir condições higiênicas adequadas. As porcas tinham acesso à água *ad libitum* e eram alimentadas de acordo com as recomendações da PIC para as fases de gestação e lactação.

O protocolo para indução de estro envolveu a administração oral diária de 5 mL de *altrenogest* (Merck Animal Health, Madison, NJ, EUA) por 18 dias. Os sinais de estro foram monitorados a partir do dia 0, que correspondia ao último dia do tratamento com *altrenogest*.

## 2.2 Coleta de dados e detecção do estro

A coleta de dados ocorreu por aproximadamente sete dias (iniciando 5 dias antes da previsão do estro da porca e terminando dois dias após o estro de cada fêmea); entretanto, apenas dois dias de pré-estro e dois dias de estro foram utilizados para todas as análises. Os dados comportamentais e as temperaturas das porcas foram obtidos duas vezes ao dia (9h00 e 14h00) por um único observador treinado.

Esse observador passou por um protocolo padronizado antes da coleta, que envolveu revisar as definições do etograma e praticar as técnicas de observação utilizadas na granja. Para minimizar vieses, o observador não tinha conhecimento do status de indução hormonal da porca nem do momento exato da confirmação do estro via BPT, focando exclusivamente nos sinais comportamentais e físicos em tempo real. A temperatura ambiente e a umidade relativa foram registradas usando um termôhigrômetro (KR-42 digital, Instrubras, São Paulo, Brasil).

O estro foi detectado liberando-se um cachaço no corredor experimental, e os sinais (Tabela 1) foram observados subjetivamente e classificados como sinais físicos, incluindo vulva avermelhada (VA), edema vulvar (EV) e presença de muco vulvar (MV). Os sinais comportamentais incluíram agitação (AG), redução do apetite (RA), urina na presença do cachaço (PC) e tremores diante do cachaço (TDC).

Por fim, realizado teste reflexo chamado teste de pressão lombar (TPL), que consiste em aplicar pressão firme sobre o dorso da porca para verificar a resposta de imobilidade, foi usado como principal critério para confirmar o estro.

Os sinais de estro foram coletados diariamente durante o período periestro. Para cada porca, a janela de observação foi definida como os dois dias anteriores e os dois dias posteriores ao primeiro dia em que o estro foi confirmado com base no reflexo de imobilidade (standing reflex) e nas alterações vulvares. Essa identificação retrospectiva permitiu um monitoramento comportamental padronizado em relação ao início do estro.

O comportamento foi registrado duas vezes ao dia (08h00 e 15h00) pelo mesmo avaliador treinado, utilizando um etograma pré-estabelecido. O etograma incluía tanto sinais físicos (por exemplo, rubor vulvar, edema) quanto indicadores comportamentais (por exemplo, agitação, redução do apetite), cada um anotado como presente (1) ou ausente (0) com base na inspeção visual direta.

Tabela 1. Sinais de estro observados e suas respectivas descrições utilizadas pelo observador.

Sinais	Sigla	Observação	Descrição
			Vulva com uma leve alteração de cor para tons avermelhados
	VA	Vulva avermelhada	
Sinais físicos			Vulva levemente inchada em comparação com avaliações anteriores.
	VE	Vulva edemaciada	
	CMV	Corrimento da mucosa da vulva	Presença de corrimento mucoso proveniente da vulva. Aumento do nível de atividade, incluindo inquietação no cercado, andar de um lado para outro e aumento da vocalização
	AG	Agitada	
Sinais			Redução perceptível no consumo de ração,
comportamentais	RA	Redução do apetite	caracterizada pela sobra de alimento no comedouro Aumento na frequência de micção, especialmente na presença do cachaço
	MF	Micção frequente	
	TDC	Tremores diante do cachaço	Tremores musculares observados quando o animal está na presença do cachaço
Teste de reflexo			Reflexo positivo de permanecer parada e rígida quando pressão é aplicada sobre suas costas.
	TPL	Teste pressão lombar	

### 2.3. Termografia Infravermelha

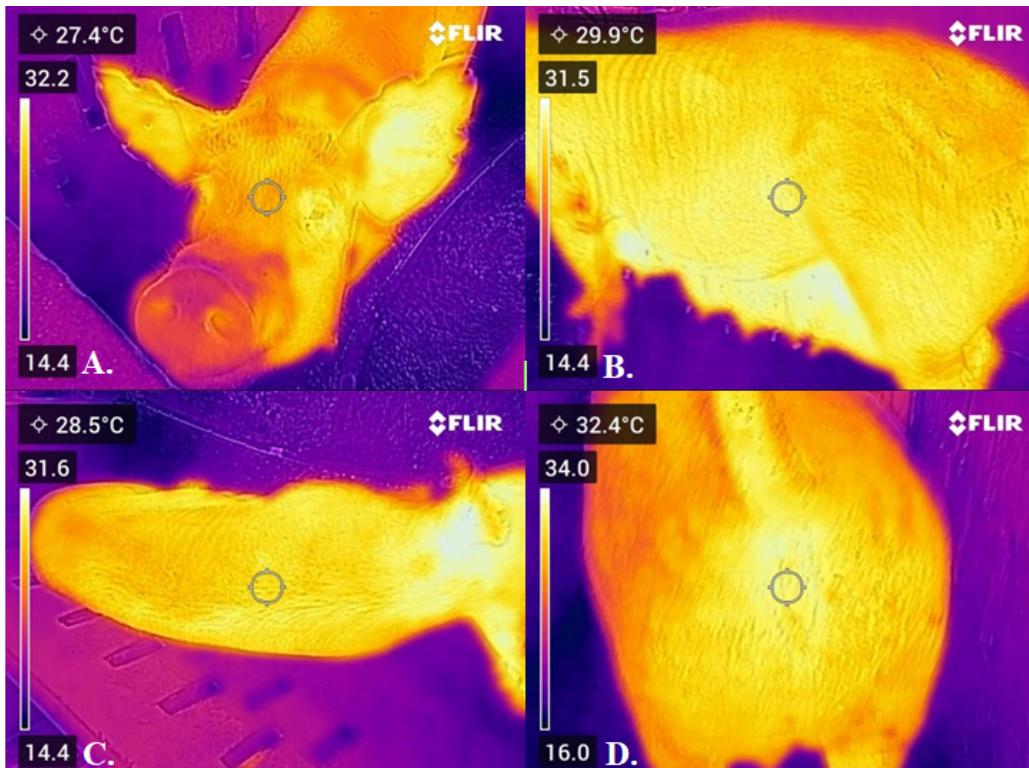
As medições de temperatura foram registradas com as porcas dentro das baías utilizando uma câmera termográfica portátil FLIR C5 (Teledyne FLIR LLC, Wilsonville, OR, EUA), equipada com um sensor térmico de  $160 \times 120$  pixels. A câmera capturou imagens de quatro ângulos diferentes, a uma distância de 0,5 m, para abranger cada região corporal da porca.

As imagens foram analisadas no software FLIR Thermal Studio Starter (Figura 1), e a emissividade foi ajustada para o valor padrão de 0,98, adequado para superfícies biológicas. Para cada região corporal específica (ponta das orelhas, olhos, mamas, dorso, vulva e área perianal), uma Região de Interesse (RI) foi delimitada manualmente no software. A temperatura média dentro de cada RI foi extraída para a análise, em vez de valores de pixel único, máximos ou mínimos, de modo a fornecer uma representação mais precisa da temperatura daquela área.

Nenhum filtro específico ou algoritmo automático de remoção de *outliers* foi aplicado após a extração dos dados. Cada porca foi avaliada calmamente dentro de sua baia para minimizar estresse. Quando havia fezes na área de medição, elas eram removidas com papel toalha para evitar alterações de temperatura ou leituras imprecisas. O mesmo operador capturou e analisou todas as imagens.

As imagens foram registradas duas vezes ao dia, pela manhã e à tarde aproximadamente uma hora após a alimentação dos animais. A temperatura retal também foi registrada usando um termômetro clínico digital (Accumed; G-Tech, São Paulo, Brasil) como referência.

Figura 1. Demonstração de uma imagem termográfica capturada por uma câmera de termografia infravermelha. (A) Região rostral; (B) Vista lateral; (C) Região dorsal; (D) Região caudal.



#### 2.4. Análises Estatísticas e de Aprendizado de Máquina

Os dados foram analisados utilizando o software estatístico SAS (SAS 9.4 Inst., Cary, NC, EUA), empregando o procedimento GLIMMIX para modelos lineares generalizados mistos, conforme mostrado na Equação (1). Para variáveis de resposta binárias (sinais de estro: presença/ausência), foi especificada uma distribuição binomial com função de ligação logit. Para valores contínuos de temperatura, assumiu-se uma distribuição normal.

Para considerar as medidas repetidas dentro de cada porca, o ID da porca foi incluído como efeito aleatório. A estrutura de covariância para medidas repetidas foi modelada usando uma matriz de covariância não estruturada (UN), quando viável, ou uma matriz autorregressiva de primeira ordem (AR(1)), selecionada com base no menor Critério de Informação Bayesiano (BIC).

Covariáveis fixas como temperatura ambiente, umidade e horário do dia (manhã/tarde) foram consideradas e inicialmente testadas, mas não foram incluídas

no modelo final por não melhorarem os valores de BIC. A significância foi declarada em  $p < 0.05$ .

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_j + \beta_k + \gamma_i + \epsilon_{ijkl}$$

$Y_{ijkl}$ : temperatura observada ou sinal para a porca  $i$ , status de estro  $j$ , região corporal  $k$  e tempo  $l$

$\mu$ : média geral

$\alpha_j$ : efeito fixo do status de estro (pré-estro vs. estro)

$\beta_k$ : efeito fixo da região de medição da temperatura

$\gamma_i$ : intercepto aleatório para a porca  $i$

$\epsilon_{ijkl}$ : erro residual

Modelos supervisionados foram testados para detecção do estro, incluindo: Random Forest (RF), Árvores de Inferência Condicional (Ctree), Partial Least Squares (PLS), K-Nearest Neighbors (KNN). O pacote caret foi utilizado para conduzir todas as análises no RStudio, versão 4.5.1 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria). O Random Forest constrói um conjunto de árvores de decisão treinadas em amostras bootstrap, considerando subconjuntos aleatórios de variáveis em cada divisão. O Ctree utiliza árvores de regressão baseadas em testes estatísticos de inferência condicional. O PLS é um método relacionado à regressão por componentes principais. O KNN classifica pontos com base na proximidade em relação aos vizinhos mais próximos.

Esses algoritmos foram escolhidos por lidarem bem com pequenos conjuntos de dados, variáveis mistas (binárias e contínuas) e boa interpretabilidade. As configurações dos modelos: RF: 500 árvores;  $mtry$  otimizado por validação cruzada de 10 folds; Ctree: parâmetros padrão; PLS: número de componentes otimizado por validação cruzada; KNN: valor de  $k$  otimizado por validação cruzada; Semente fixa: e.g., `set.seed(123)`. O desempenho foi avaliado através de: Acurácia, Sensibilidade, Especificidade, Matriz de confusão. O conjunto de dados ( $n = 59$ ) foi dividido aleatoriamente em: 60% dados de treinamento 40% dados de teste. A separação foi feita para manter independência entre os dados, garantindo que todas as observações de cada porca fossem alocadas apenas no conjunto de treino ou no de teste, evitando *data leakage*.

Ao aplicar diferentes métodos, buscou-se identificar qual abordagem apresenta melhor desempenho sob condições de campo e com o conjunto misto de dados disponível. O objetivo final foi determinar o modelo mais eficiente para classificação do estro em condições reais de produção.

Após a classificação ser testada utilizando os algoritmos de aprendizado de máquina, o desempenho do método foi avaliado por meio de uma matriz de confusão. Havia quatro condições presentes na matriz de confusão para mensurar o desempenho: Verdadeiro Positivo (VP), Indica que um dado positivo entrou no sistema e foi corretamente previsto como estro pelo modelo. Falso Positivo (FP), indica que um dado negativo entrou no sistema, mas o modelo previu incorretamente como estro. Verdadeiro Negativo (VN), indica que um dado negativo entrou no sistema e foi corretamente previsto como não estro. Falso Negativo (FN), indica que um dado positivo entrou no sistema, mas o modelo o classificou incorretamente como não estro.

A acurácia (ver Equação 2) foi calculada com base nos valores de VP, FP, VN e FN:

$$Acuracia = \frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN} \times 100$$

### **3. Resultados**

#### *3.1. Sinais de estro*

Os sinais observados em porcas e marrãs durante o estro e nos dois dias anteriores ao estro (Tabela 2) apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), exceto para RA (redução do apetite) e TDC (tremor diante do cachaço). Entre os sinais avaliados, a agitação foi o que mostrou o maior aumento do pré-estro para o estro (8% vs. 71%,  $p < 0,0001$ ). Esses sinais comportamentais foram observados em baixa frequência nas fêmeas ao longo do período experimental.

Considerando o teste de pressão lombar (TPL) como parâmetro para confirmação do estro, 100% das fêmeas analisadas apresentaram esse comportamento reflexo. Dentre elas, apenas 77% mostraram vulva hiperêmica e 74% apresentaram edema vulvar.

**Tabela 2.** Percentuais dos sinais de estro observados nas fases de pré-estro e estro de porcas

Sinais	Fase do ciclo		EPM	<i>p</i> -valor
	Pre-estro	Estro		
VA	0,42	0,77	0,079	0,0020
VE	0,42	0,74	0,080	0,0049
DMV	0,17	0,51	0,075	0,0016
AG	0,08	0,71	0,064	<,0001
RA	0,00	0,06	0,028	0,1499
MF	0,03	0,20	0,052	0,0216
TDC	0,00	0,03	0,020	0,3139
TPD	0,00	1,00	-	-

VA = vulva avermelhada; VE = vulva edemaciada (inchada); DMV = descarga mucosa vulvar; AG = agitação; RA = redução do apetite (sobras de ração); MF = micção frequente; TDC = tremores diante cachaço; TPL = teste de pressão lombar (reflexo de imobilidade quando pressão é aplicada sobre o dorso).

### 3.2. Termografia Infravermelha e Temperatura Retal

Os dados de temperatura obtidos por meio da câmera de termografia infravermelha (Tabela 3) mostram diferenças significativas apenas na região orbital (olho esquerdo e direito) ( $p < 0,05$ ). Os resultados das análises realizadas com a câmera termográfica para orelha direita, orelha esquerda, dorso, mama, vulva e região perianal foram semelhantes entre a fase de pré-estro e a fase de estro das porcas.

A temperatura retal, medida com um termômetro clínico digital (DT), também não apresentou diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre as duas fases do ciclo. A região orbital medida pela termografia infravermelha apresentou uma diminuição significativa durante o estro (-7,15% no olho direito e -6,42% no olho esquerdo, respectivamente). Nenhuma outra região corporal apresentou diferenças estatísticas. A temperatura retal permaneceu estatisticamente inalterada ( $p = 0,07$ ).

**Tabela 3.** Temperaturas médias registradas com uma câmera de termografia

infravermelha (CTI) e temperatura retal medida com um termômetro clínico digital (TCD) nas fases de pré-estro e estro.

<b>Região</b>	<b>Fase do ciclo</b>		<b>EPM</b>	<b>p-valor</b>
	<b>Pré-estro</b>	<b>Estro</b>		
Olho direito	29,35a	27,25b	0,526	0,0058
Olho esquerdo	29,30a	27,42b	0,512	0,0109
Orelha direita	25,12	24,22	0,937	0,4967
Orelha esquerda	25,20	24,38	1,026	0,5738
Costas	27,90	27,55	0,664	0,7074
Região do peito	29,60	29,79	0,470	0,7742
Área vulvar	31,29	30,72	0,422	0,3655
Área perineal	32,48	32,25	0,353	0,6538
Temperatura retal	38,17	37,96	0,080	0,0708

### 3.3 Aprendizado de máquina

A Figura 2 ilustra a importância relativa de cada variável preditora utilizada no modelo de classificação Random Forest para detecção de estro em porcas. Entre todas as variáveis analisadas, o comportamento de agitação foi identificado como o fator mais influente na predição do estro, apresentando um valor de importância normalizado igual a 100.

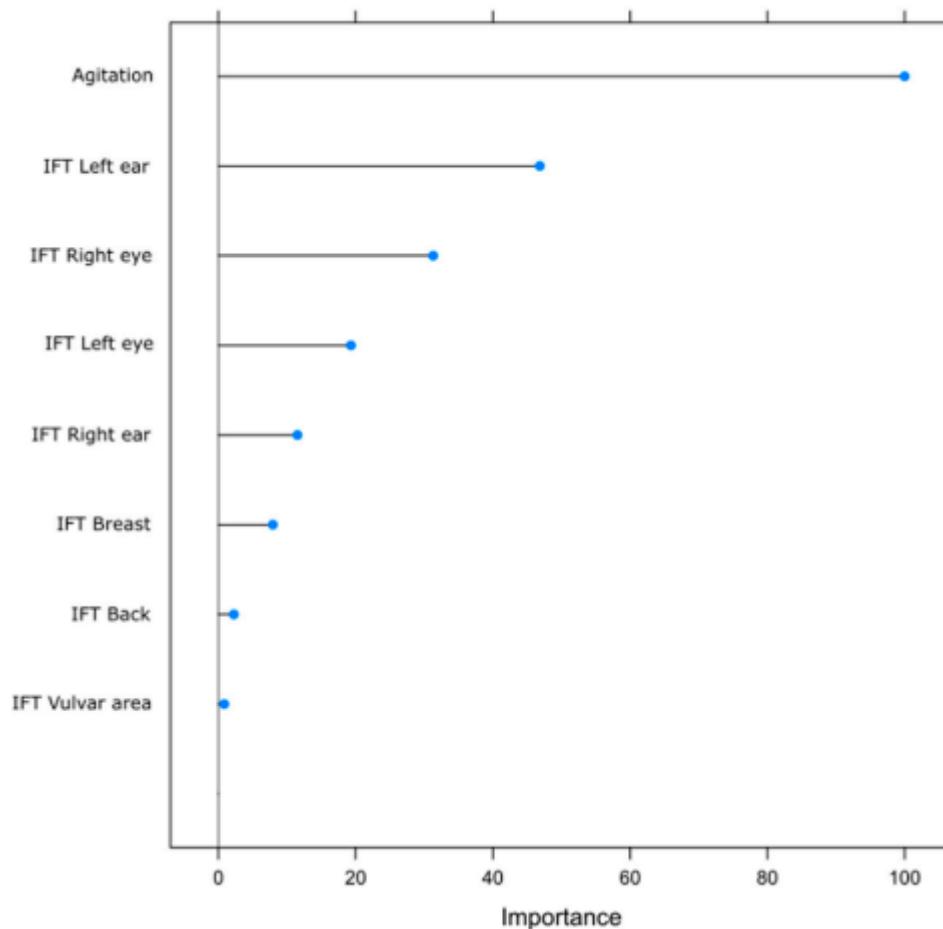


Figura 2. Importância das variáveis obtidas por Random Forest considerando comportamento agitado e temperatura por termografia infravermelha em diferentes regiões do corpo de porcas.

As medições de termografia infravermelha realizadas em regiões corporais específicas mostraram diferentes níveis de importância. As temperaturas da orelha esquerda e do olho direito ocuparam, respectivamente, a segunda e a terceira posições entre os preditores mais relevantes. Já a região vulvar apresentou a menor importância no modelo Random Forest.

Utilizando 60% dos dados para treinamento, o modelo atingiu uma acurácia de 100% (90,3–100%, IC 95%). O conjunto de treinamento classificou corretamente 17 dados positivos e 19 dados negativos. Para o conjunto de teste, composto por 40% dos dados, a acurácia foi de 87% (66,4–97,2%, IC 95%) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Matriz de confusão e acurácia com a partição treinamento e teste utilizando o modelo selecionado de random forest

	Predição		Acurácia ( $\pm 95\% \text{ CI}$ )
	Estro	Sem estro	
<b>Treinamento (60%)</b>			
Estro	17	0	
Sem estro	0	19	1,0 (0,93 – 1,00)
<b>Teste (40%)</b>			
Estro	9	1	
Sem estro	2	11	0,87 (0,66 – 0,97)

#### 4. DISCUSSÃO

O período estrogênico. As maiores diferenças foram registradas quando a temperatura ambiente estava em torno de 20 °C, indicando forte influência ambiental nos resultados.

Resultados diferentes foram observados por Luño et al. [31], que relataram que a temperatura durante o estro não foi significativamente maior do que no período sem estro. Simões et al. [32] observaram queda da temperatura da pele vulvar durante o estro, embora permanecendo estável no pré-estro, com baixa significância.

A ausência de significância em nossos achados pode ser atribuída a vários fatores, incluindo as variações nas condições ambientais, diferenças naturais entre animais no momento da medição, limitações inerentes à termografia portátil (handheld). Além disso, mesmo sendo uma ferramenta promissora, a CTI pode não detectar pequenas mudanças térmicas, especialmente quando são sutis ou ocorrem por curtos períodos durante o comportamento natural das porcas.

Curiosamente, a região orbital foi a única que apresentou diferença significativa entre pré-estro e estro, com uma variação de 2 °C. Embora essa mudança possa parecer abrupta, trata-se de uma média resultante de vários registros. Uma avaliação mais frequente (diária) poderia ter produzido resultados ainda mais consistentes. Outro ponto importante é que o valor de p da temperatura orbital medida com TCI foi o mais próximo do valor de p obtido na temperatura retal medida com termômetro

digital, o que reforça a eficiência da região orbital como indicador de temperatura interna.

Esse achado está alinhado com estudos em outras espécies, como ovelhas e búfalos, onde a temperatura orbital apresenta maior correlação com alterações fisiológicas internas do que regiões periféricas [9,11]. A região orbital é considerada uma janela térmica, devido à sua rica vascularização e alta emissividade, o que a torna um local estável e responsivo para medição térmica [5,33].

Diferentemente das regiões vulvar ou perianal, a captura de imagens da área orbital não exige manipulação física do animal, diminuindo artefatos relacionados ao estresse e reduzindo a interferência de poeira tornando a técnica prática e amigável ao bem-estar animal, especialmente em granjas comerciais.

Diversos estudos já avaliaram outras partes do corpo, dorso [12,34], orelhas [34,35], região vulvar [6,12–14,31,36], região anal [30,34], e mamas [12], como indicadores de estro em porcas e marrãs. Embora este estudo não tenha encontrado diferenças significativas nessas regiões, isso não invalida o uso da termografia. Pelo contrário, os resultados indicam que a técnica pode ser aperfeiçoada e combinada com outros métodos e tecnologias, fornecendo detecção de estro mais precisa.

Embora outras regiões anatômicas, como orelhas, mamas, região perianal e dorso, não tenham apresentado impacto significativo, a combinação de sinais comportamentais, como agitação, com dados de termografia infravermelha aumentou a precisão da classificação do estro nos modelos de aprendizado de máquina. O algoritmo Random Forest revelou que a agitação e a temperatura orbital foram os preditores mais importantes, enquanto a região vulvar esteve entre as menos relevantes.

Esses achados reforçam a crescente evidência de que a utilização de múltiplos sinais, incluindo marcadores comportamentais e fisiológicos, pode tornar a detecção de estro mais confiável do que depender de um único parâmetro. Entretanto, as assimetrias inexplicadas observadas entre lado esquerdo e direito nas variáveis de importância (por exemplo, orelha esquerda vs. orelha direita, olho direito vs. olho esquerdo) no modelo Random Forest sugerem possível viés de mensuração ou variabilidade biológica intrínseca não considerada no delineamento experimental.

Diversos estudos demonstram que a Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina podem detectar o estro com alta precisão. Por exemplo, Chang et al. [37] alcançaram mais de 97% de acurácia usando características visuais da vulva, enquanto Xue et al. [16] relataram 94,1% de precisão com base em mudanças posturais das porcas.

No presente estudo, embora o tamanho da amostra tenha sido limitado, a combinação de agitação (observada como movimentação constante e exploração da baia) com a temperatura orbital permitiu uma classificação eficiente entre estados de estro e não estro. Esses achados foram confirmados pela avaliação da matriz de confusão, que mostrou acurácia e especificidade consistentes quando utilizada a abordagem integrada (Tabela 4).

Em resumo, enquanto métodos tradicionais baseados exclusivamente na temperatura vulvar podem não produzir resultados consistentes em condições de campo, a região orbital demonstra grande potencial como marcador fisiológico de estro. Quando combinada com observações comportamentais e apoiada por modelos de aprendizado de máquina, a CTI pode se tornar uma ferramenta valiosa para detecção de estro em tempo real.

Pesquisas futuras, com tamanhos de amostra maiores, protocolos de imagem padronizados e quantificação automatizada de comportamento, serão fundamentais para validar e otimizar o uso dessa tecnologia em sistemas comerciais de produção de suínos.

## 5. Conclusões

A combinação da temperatura da região orbital com o comportamento agitado dentro de modelos de aprendizado de máquina demonstrou potencial para melhorar a detecção de estro em porcas. Nossos resultados revelam uma abordagem integrada que oferece uma estratégia promissora e não invasiva para aprimorar a detecção de estro, especialmente em condições comerciais. No entanto, validações adicionais com populações maiores e mais diversas de porcas serão necessárias para permitir o desenvolvimento de um modelo mais preciso para implementação rotineira.

## Referências

- [1] ABCS. Produção de Suínos: Teoria e Prática; Associação Brasileira de Criadores de Suínos—Coordenação técnica da Integral Soluções em Produção Animal: Brasília, Brazil, 2014.
- [2]. Hafez, B.; Hafez, E.S.E. Reprodução Animal, 7th ed.; Editora Manole: Barueri, Brazil, 2004.
- [3]. Langendijk, P.; Van Den Brand, H.; Soede, N.M.; Kemp, B. Effect of boar contact on follicular development and on estrus expression after weaning in primiparous sows. *Theriogenology* 2000, 54, 1295–13033
- [4]. Frare, A.L.; Pontili, A.D.; Bini, D.; Jacobovski, D.A.; Teixeira, E.; Malherbi, G.; Meirelles, C. Ciclo Estral dos Suínos; Faculdade Assis Gurgaz: Cascavel, Brazil, 2013.
- [5]. Godyń, D.; Herbut, P. Applications of continuous body temperature measurements in pigs—A review. *Ann. Wars Univ. LifeSci—SGGW—Anim. Sci.* 2018, 56, 209–220.
- [6]. Zhang, Z.; Zhang, H.; Liu, T. Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artif. Intell. Agric.* 2019, 1, 14–26.
- [7]. Perez Marquez, H.J.; Ambrose, D.J.; Schaefer, A.L.; Cook, N.J.; Bench, C.J. Evaluation of infrared thermography combined with behavioral biometrics for estrus detection in naturally cycling dairy cows. *Animal* 2021, 15, 100205.
- [8]. Talukder, S.; Thomson, P.C.; Kerrisk, K.L.; Clark, C.E.F.; Celi, P. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology* 2015, 83, 739–748.
- [9]. De Ruediger, F.R.; Yamada, P.H.; Bicas Barbosa, L.G.; Mungai Chacur, M.G.; Pinheiro Ferreira, J.C.; De Carvalho, N.A.T.; Soriano, G.A.M.; Codognoto, V.M.; Oba, E. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 2018, 197, 154–161.

- [10]. Façanha, D.A.E.; Peixoto, G.C.X.; Ferreira, J.B.; Souza, J.E.R.D.; Paiva, R.D.M.; Ricarte, A.R.F. Detecting estrus in Canindé goats by two infrared thermography methods. *Acta Vet. Bras.* 2018, 12, 49–54.
- [11]. de Freitas, A.C.B.; Vega, W.H.O.; Quirino, C.R.; Junior, A.B.; David, C.M.G.; Geraldo, A.T.; Rua, M.A.S.; Rojas, L.F.C.; Filho, J.E.d.A.; Dias, A.J.B. Surface temperature of ewes during estrous cycle measured by infrared thermography. *Theriogenology* 2018, 119, 245–251.
- [12]. Weng, R.-C. Variations in the body surface temperature of sows during the post weaning period and its relation to subsequent reproductive performance. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2020, 33, 1138–1147.
- [13]. Sykes, D.; Couvillion, J.; Cromiak, A.; Bowers, S.; Schenck, E.; Crenshaw, M.; Ryan, P. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology* 2012, 78, 147–152.
- [14]. Lee, J.H.; Lee, D.H.; Yun, W.; Oh, H.J.; An, J.S.; Kim, Y.G.; Kim, G.M.; Cho, J.H. Quantifiable and feasible estrus detection using the ultrasonic sensor array and digital infrared thermography. *J. Anim. Sci. Technol.* 2019, 61, 163–169.
- [15]. Hannon, J.P.; Bossone, C.A.; Wade, C.E. Normal physiological values for conscious pigs used in biomedical research. *Lab. Anim. Sci.* 1990, 40, 293–298.
- [16]. Xue, H.; Chen, J.; Ding, Q.; Sun, Y.; Shen, M.; Liu, L.; Chen, X.; Zhou, J. Automatic detection of sow posture and estrus based on convolutional neural network. *Front. Phys.* 2022, 10, 1037129.
- [17]. Arakawa, T. Possibility of Autonomous Estimation of Shiba Goat's Estrus and Non-Estrus Behavior by Machine Learning Methods. *Animals* 2020, 10, 771.
- [18]. Wang, J.; Chen, H.; Wang, J.; Zhao, K.; Li, X.; Liu, B.; Zhou, Y. Identification of oestrus cows based on vocalisation characteristics and machine learning technique using a dual-channel-equipped acoustic tag. *Animal* 2023, 17, 100811.
- [19]. Cairo, F.; Pereira, L.; Campos, M.; Tomich, T.; Coelho, S.; Lage, C.; Fonseca, A.; Borges, A.; Alves, B.; Dorea, J. Applying machine learning techniques on feeding

behavior data for early estrus detection in dairy heifers. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 179, 105855.

[20]. Choi, R.Y.; Coyner, A.S.; Kalpathy-Cramer, J.; Chiang, M.F.; Campbell, J.P. Introduction to Machine Learning, Neural Networks, and Deep Learning. *Transl. Vis. Sci. Technol.* 2020, 9, 14.

[21]. Greener, J.G.; Kandathil, S.M.; Moffat, L.; Jones, D.T. A guide to machine learning for biologists. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2022, 23, 40–55.

[22]. Soede, N.M.; Kemp, B. Expression of oestrus and timing of ovulation in pigs. *J. Reprod. Fertil.* 1997, 52, 91–103.

[23]. Romoser, M.R.; Hale, B.J.; Seibert, J.T.; Gall, T.; Rademacher, C.J.; Stalder, K.J.; Baumgard, L.H.; Keating, A.F.; Ross, J.W. Methods for reproductive tract scoring as a tool for improving sow productivity. *Transl. Anim. Sci.* 2020, 4, 275–284.

[24]. Bressers, H.P.M. Monitoring Individual Sows in Group—Housing: Possibilities for Automation. Ph.D. Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1993.

[25]. Lei, K.; Zong, C.; Du, X.; Teng, G.; Feng, F. Oestrus Analysis of Sows Based on Bionic Boars and Machine Vision Technology. *Animals* 2021, 11, 1485.

[26]. McGlone, J.; Aviles-Rosa, E.O.; Archer, C.M.; Wilson, M.; Jones, K.D.M.; Matthews, E.; Gonzalez, A.A.; Reyes, E. Understanding Sow Sexual Behavior and the Application of the Boar Pheromone to Stimulate Sow Reproduction. In *Animal Reproduction in Veterinary Medicine*; Aral, F., Payan-Carreira, R., Quaresma, M., Eds.; IntechOpen: London, UK, 2021.

[27]. Thompson, R.; Matheson, S.M.; Plötz, T.; Edwards, S.A.; Kyriazakis, I. Porcine lie detectors: Automatic quantification of posture state and transitions in sows using inertial sensors. *Comput. Electron. Agric.* 2016, 127, 521–530.

[28]. Abrams, R.M.; Thatcher, W.W.; Bazer, F.W.; Wilcox, C.J. Effect of Estradiol-17 $\beta$  on Vaginal Thermal Conductance in Cattle. *J. Dairy Sci.* 1973, 56, 1058–1062.

- [29]. De Oliveira, N.C.; Vieira, M.D.L.; Dos Santos, W.B.R.; Pedroso, L.B.; Ribeiro, J.C.; Cezário, A.S.; Oliveira, E.M.B.; De Souza, C.M. Influência da temperatura na produção e bem-estar de suínos. *Colloq. Agrar.* 2017, 13, 254–264.
- [30]. Scolari, S.; Clark, S.; Knox, R.; Tamassia, M. Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography. *J. Swine Health Prod.* 2011, 19, 151–155.
- [31]. Luño, V.; Gil, L.; Jerez, R.A.; Malo, C.; González, N.; Grandía, J.; de Blas, I. Determination of ovulation time in sows based on skin temperature and genital electrical resistance changes. *Vet. Rec.* 2013, 172, 579.
- [32]. Simões, V.G.; Lyazrhi, F.; Picard-Hagen, N.; Gayrard, V.; Martineau, G.-P.; Waret-Szkuta, A. Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. *Theriogenology* 2014, 82, 1080–1085.
- [33]. Schmidt, M.; Lahrmann, K.-H.; Ammon, C.; Berg, W.; Schon, P.; Hoffmann, G. Assessment of body temperature in sows by two infrared thermography methods at various body surface locations. *J. Swine Health Prod.* 2013, 21, 203–209.
- [34]. Weng, R.-C.; Ndwandwe, S. Application of modern estrus detection protocols in small scale Hybrid Black pig production systems. *J. Agric. Crop. Res.* 2020, 8, 120–131.
- [35]. Geers, R.; Janssens, S.; Jourquin, J.; Goedseels, V.; Goossens, K.; Ville, H.; Vandoorne, N. Measurement of Ear Base Temperature as a Tool for Sow Management. *Trans. ASAE* 1996, 39, 655–659.
- [36]. Chem, V.; Mun, H.-S.; Ampode, K.M.B.; Mahfuz, S.; Chung, I.-B.; Dilawar, M.A.; Yang, C.-J. Heat Detection of Gilts Using Digital Infrared Thermal Imaging Camera. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 2022, 10, 2142–2147.
- [37]. Chang, S.-C.; Wu, X.-R.; Kuan, H.-Y.; Peng, S.-Y.; Chang, C.-Y. Using deep learning to accurately detect sow vulva size in a groupen with a single camera. *J. Anim. Sci.* 2024, 102, skad407.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A termografia infravermelha representa uma tecnologia estratégica para a modernização da suinocultura, contribuindo para práticas de manejo mais precisas, sustentáveis e orientadas por dados, com impactos positivos sobre saúde, reprodução e produtividade dos animais. Além disso, no desenvolvimento da presente pesquisa, a termografia apresentou elevado potencial como indicador fisiológico de monitoramento do período estral em matrizes suínas.

Comparativamente aos métodos de observação tradicional, sistemas combinados com tecnologias elevam a acurácia da detecção, reduzem a subjetividade e minimizam perdas reprodutivas decorrentes do diagnóstico tardio ou impreciso do estro. Assim, a incorporação da zootecnia de precisão ao manejo reprodutivo representa uma abordagem promissora para otimizar protocolos de inseminação artificial, aumentar a eficiência produtiva e promover maior sustentabilidade nos sistemas modernos de produção suinícola.

## APÊNDICE A

### PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMATICA

#### 1. OBJETIVOS

O protocolo foi desenvolvido para comparar a influência da temperatura da vulva e corporal de matrizes suínas por meio da câmera termográfica infravermelha como método de predição do estro. Os resultados podem auxiliar na estratégia de detecção do estro durante o manejo na granja, otimizando a produtividade e eficiência na inseminação, reduzindo os períodos improdutivos.

#### 2. METODOLOGIA

##### *2.1 Critérios de Elegibilidade*

PICOS para formulação da questão da pesquisa

P: Suínos, matrizes suínas em fase de estro

I: Predição do estro com medição de temperaturas

C: Período estral

O: Termografia infravermelho, temperatura corporal, temperatura da vulva, comportamento animal

S : Experimento *in vivo*

##### *2.2 Bases de informação*

A pesquisa foi realizada nas bases de dados PubMed, SCOPUS, Sciende Direcxt, Web of Science

##### *2.3 Estratégia de pesquisa*

Foram utilizadas as mesmas bases de dados para pesquisa dos termos selecionados

Base de dados 1: PubMed

Base de Dados 2: Science Direct

Base de dados 3: SCOPUS

Base de dados 4: Web of Science

##### *2.4 Palavras-chave*

1# ("sow")  
 2#( "estrus" )  
 3#( "thermography" )  
 4#("behavior" OR "behaviour" )  
 5#( "temperature" )

### *2.5 Cruzamento entre as palavras-chave*

Simples = 1# AND 2# AND 3# AND 4# AND 5#

### *2.6 Pesquisa base de dados*

PubMed

("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature")

Science Direct

("Sow") AND ("Estrus") AND ("Thermography") AND ("Behavior" OR "Behaviour")

SCOPUS

("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature")

Web of Science

("sow") AND ("estrus") AND ("thermography") AND ("behavior" OR "behaviour") AND ("temperature")

Tabela 1. Resultado da pesquisa concluída em junho de 2025

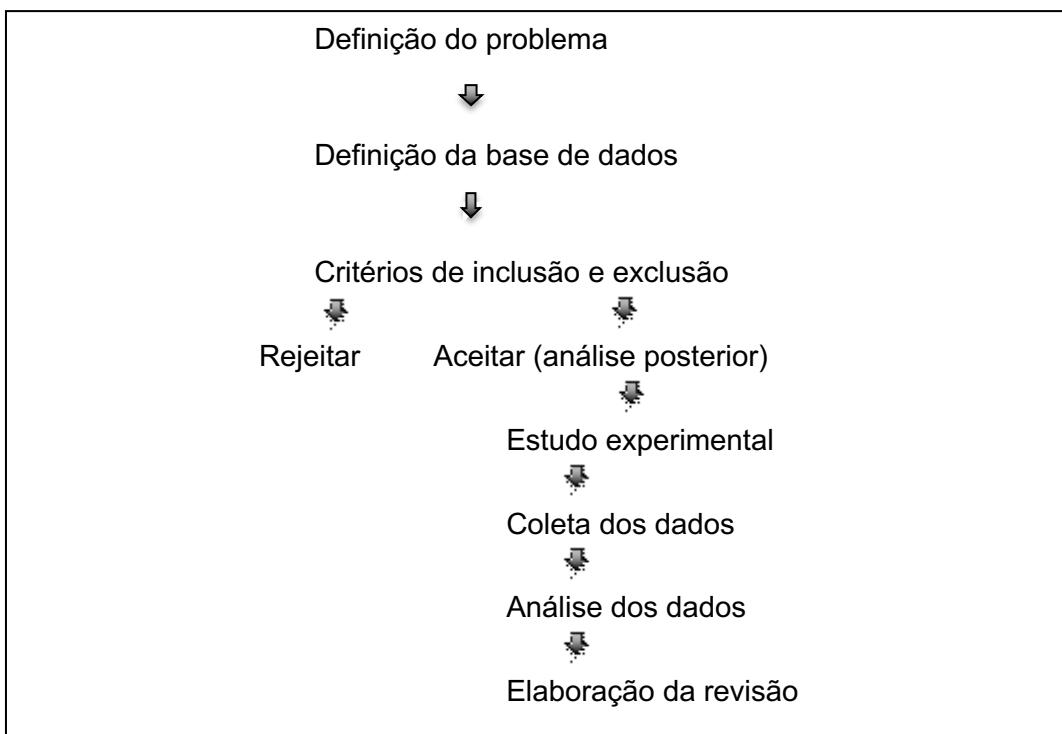
Base	Cruzamento	Limitação	Artigos encontrados
Scopus	Simples	Artigo de pesquisa	7
Web of Science	Simples	Artigo de pesquisa	0
Science Direct	Simples	Artigo de pesquisa	10
Pub Med	Simples	Artigo de pesquisa	3

## 2.7 Registros da pesquisa

### 2.7.1 Gerenciamento dos dados

Os artigos encontrados foram importados para o software de gerenciamento de bibliografia *Mendeley* de maneira a reduzir duplicações de trabalhos. A triagem e delineamento da extração dos estudos foram realizados em planilha Excel.

#### Definição do problema



### 2.7.2 Processo de seleção

Os textos completos de todos os artigos selecionados passaram por uma primeira filtragem, considerando os critérios de inclusão e exclusão.

**Critérios de inclusão:** Artigos completos na íntegra (artigos duplicados foram considerados apenas uma vez), no formato de estudo experimental, publicados em inglês. **Critérios de exclusão:** Resumos publicados em animais, revisões, teses e dissertações, livros ou capítulos de livros

### 2.7.3 Coleta dos dados

Os dados foram tabulados em planilha do software Excel. As informações dos artigos foram extraídas de tabelas que compararam a temperatura da vulva, focinho, anus, incluindo as características dos animais (raça, idade, período do ciclo, horário de coleta).

#### *2.7.4 Critérios dos dados*

Instrumento que contenha informações sobre a identificação da publicação (título, base de dado, autores, país, idioma, ano de publicação), nome do periódico, aspecto da metodologia aplicada, informações sobre o uso temperatura da vulva na detecção de estro, comportamento animal durante fase de estro e conclusões do estudo.

##### *Outcomes e prioridades*

Não se aplica

##### Risco de viés em estudos individuais

Não se aplica

##### *Síntese de dados*

Não se aplica

##### *Metávies*

Foram utilizados apenas estudos randomizados publicados em periódicos revisados por pares

##### *Confiança na evidencia cumulativa*

Não se aplica

#### *2.7.5 Avaliação da evidência dos estudos*

A qualidade metodológica dos artigos será avaliada pelo nível de evidência (JBI evidence level - [https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI-Levels-of-evidence\\_2014\\_0.pdf](https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI-Levels-of-evidence_2014_0.pdf)). Posteriormente, será realizada a aplicação do CASP por desenho metodológico (Lista de verificação do CASP (Critical Appraisal Skills Programme) (Apêndice 1).

Disponível em: <https://casp-uk.net/wp-content/uploads/2018/01/CASP-Case-Control-Study-Checklist-2018.pdf>.

#### Quadro 1. Instrumento para extração

#### **INSTRUMENTO PARA EXTRAÇÃO DOS DADOS DOS ESTUDOS**

##### **1. Identificação da publicação:**

Título do artigo	
Bases de dados indexadas	
Autores	
País	
Idioma	
Ano de publicação	
<b>2. Revista científica</b>	
Nome da revista científica	
<b>3. Aspectos metodológicos do estudo</b>	
Objetivo ou hipótese	
Tipo de estudo	
Número amostral de animais	
Delineamento	
<b>4. Características experimentais</b>	
Espécie	
Raça dos animais	
Sexo	
Idade	
Ordem de parto	
Período do ciclo	
Temperatura termográfica da vulva	
Temperatura termográfica do focinho	
Temperatura termográfica do anus	
Horário da coleta	
<b>6. Limitações do estudo e conclusão</b>	
<b>7. Avaliação metodológica (CASP)</b>	

1. O estudo abordou uma questão claramente focada?
2. Os autores usaram um método apropriado para responder a sua pergunta?
3. Os casos foram recrutados de maneira aceitável?
4. Os controles foram selecionados de maneira aceitável?
5. A exposição foi medida com precisão para minimizar o viés?
6. Além da intervenção experimental, os grupos foram tratados igualmente? Os autores levaram em conta dos fatores de confusão no design da análise?
7. Quão grande foi o efeito do tratamento?
8. Quão precisa foi a estimativa do efeito do tratamento?
9. Você acredita nos resultados?
10. Os resultados podem ser aplicados para população local?
11. Os resultados deste estudo se encaixam com outras evidências disponíveis?