

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA



UNIVERSIDADE
DE LISBOA



Aplicação de sistemas de visão computacional na deteção de lesões
pulmonares em bovinos de engorda

José de Almada Rafael dos Santos Bessa

ORIENTADOR(A):
Dr. Nuno Luís de Pinho Tavares
COORDENADOR(A):
Doutor José Ricardo Dias Bexiga

2025

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA



UNIVERSIDADE
DE LISBOA



Aplicação de sistemas de visão computacional na deteção de lesões
pulmonares em bovinos de engorda

José de Almada Rafael dos Santos Bessa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

JÚRI

PRESIDENTE:

Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho

VOGAIS:

Doutor George Thomas Stilwell

Doutor José Ricardo Dias

ORIENTADOR(A):

Dr. Nuno Luís de Pinho Tavares

COORIENTADOR(A):

Doutor José Ricardo Dias Bexiga

DECLARAÇÃO RELATIVA ÀS CONDIÇÕES DE REPRODUÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Nome: José de Almada Rafael dos Santos Bessa

Título da Tese ou Dissertação:

Ano de conclusão (indicar o da data da realização das provas públicas): 2025

Designação do curso de Mestrado ou de

Doutoramento: Mestrado Integrado em Medicina Veterinária

Área científica em que melhor se enquadra (assinale uma):

- Clínica Produção Animal e Segurança Alimentar
 Morfologia e Função Sanidade Animal

Declaro sobre compromisso de honra que a tese ou dissertação agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Faculdade de Medicina Veterinária da ULISBOA.

Declaro que concedo à Faculdade de Medicina Veterinária e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha tese ou dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Faculdade de Medicina Veterinária a arquivar mais de uma cópia da tese ou dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter o documento entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à tese ou dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Faculdade de Medicina Veterinária com o seguinte estatuto (assinale um):

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial;
- Disponibilização do conjunto do trabalho para acesso exclusivo na Faculdade de Medicina Veterinária durante o período de 6 meses, 12 meses, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso mundial*;

* Indique o motivo do embargo (OBRIGATÓRIO)

Nos exemplares das dissertações de mestrado ou teses de doutoramento entregues para a prestação de provas na Universidade e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito na Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa deve constar uma das seguintes declarações (incluir apenas uma das três):

- É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
- É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.) APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
- DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.) NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa, 23 de julho de 2025

(indicar aqui a data da realização das provas

públicas)

Assinatura: José Bessa

Agradecimentos

Aproveito este espaço para agradecer a todos os que me ajudaram de forma direta e indireta ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor José Ricardo Dias Bexiga por todo o apoio e dedicação ao longo das várias fases de desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por todas as oportunidades de aquisição de conhecimento que proporcionou ao longo do curso. Obrigado pelo seu exemplo e ensinamentos técnicos que em muito contribuirão positivamente para a minha vida profissional.

À Doutora Ana Vítor por ter disponibilizado o sistema de visão computacional. Por toda a ajuda e disponibilidade ao longo do processo.

Ao médico veterinário assistente da exploração que possibilitou a recolha de dados para a realização deste trabalho. Obrigado por toda a disponibilidade demonstrada ao longo destes meses.

À MPL.VET por me ter recebido para a realização do meu estágio curricular. Ao Dr. Nuno Tavares por me ter orientado o estágio. Agradeço ainda à Dra. Beatriz Rebimbas, à Dra. Beatriz Miguéis, à Dra. Mariana Costa, ao Dr. Fábio Silva e à Engenheira Cátia Rodrigues por todos os ensinamentos, simpatia e amizade ao longo dos meses de estágio.

Aos meus pais, por me proporcionarem a oportunidade de estudar e por todo o apoio ao longo dos anos. Aos meus avós e às minhas irmãs por estarem sempre presentes e disponíveis.

Por fim, a todas as amizades dentro e fora da universidade que foram um apoio constante e essencial para que o trabalho realizado ao longo dos anos pudesse culminar nesta dissertação.

Aplicação de sistemas de visão computacional na deteção de lesões pulmonares em bovinos de engorda

Resumo

A Doença Respiratória Bovina (DRB) é a principal causa de prejuízos financeiros em explorações de engorda. O propósito deste estudo foi testar um sistema de visão computacional (CVS) em imagens de pulmões bovinos obtidas num matadouro, para avaliar a sua eficácia como um recurso auxiliar no diagnóstico *post-mortem* de lesões respiratórias. Foram recolhidas e analisadas 164 imagens de pulmões, correspondentes a 82 bovinos, utilizando parâmetros RGB e *grayscale*, e comparadas com uma classificação visual das lesões em 4 níveis (0 a 3). Os resultados indicaram uma correlação estatisticamente significativa entre a proporção de pixels de alta intensidade (em canal vermelho) e a gravidade dos quadros lesionais. No entanto, o sistema apresentou restrições na diferenciação entre níveis mais graves de lesão. A discussão destaca o potencial da digitalização de imagens como recurso económico e facilmente integrável em sistemas de *machine learning*. Conclui-se que esta abordagem pode contribuir para uma avaliação mais objetiva da sanidade pulmonar, com implicações na monitorização de tratamentos, avaliação económica e tomada de decisão em produção animal.

Palavras-chave: doença respiratória bovina, sistema de visão computacional, diagnóstico *post-mortem*, canal de cor

Use of computer vision systems in the detection of pulmonary lesions in feedlot cattle

Abstract

Bovine Respiratory Disease (BRD) is the leading cause of economic loss in beef feedlots. This study aimed to test a computer vision system (CVS) applied to images of bovine lungs collected at the slaughterhouse, assessing its potential as a complementary *post-mortem* diagnostic tool for respiratory lesions. A total of 164 lung images corresponding to 82 cows, were collected and analysed using RGB and grayscale parameters, which were compared to a 4-level visual lesion scoring system (0 to 3). Results showed a statistically significant correlation between the proportion of high-intensity pixels (in the red channel) and lesion severity. However, the system showed limitations in distinguishing among more advanced lesion scores. The discussion highlights the potential of image digitalization as a low-cost tool that can be integrated into machine learning systems. In conclusion, this approach may contribute to a more objective assessment of lung health, with implications for treatment monitoring, economic evaluation, and decision-making in animal production.

Keywords: bovine respiratory diseases, digital imagery, *post-mortem* examination, colour channel

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo | iv |
| Abstract..... | v |
| Índice de Tabelas | vii |
| Índice de Figuras | viii |
| Índice de Gráficos | viii |
| Lista de abreviaturas..... | viii |
| 1 Introdução..... | 1 |
| 2 Relatório de Estágio | 2 |
| 3 Revisão de Literatura..... | 5 |
| 3.1 Definição de Doença Respiratória Bovina..... | 5 |
| 3.1.1 Caracterização da infeção..... | 5 |
| 3.1.2 Combate e Impacto económico | 6 |
| 3.2 Maneio e prevenção | 7 |
| 3.2.1 Especificidades de uma exploração de engorda | 7 |
| 3.2.2 <i>Preconditioning</i> | 8 |
| 3.2.3 Métodos de diagnóstico | 8 |
| 3.3 Lesões pulmonares | 9 |
| 3.3.1 Contexto do setor suíno | 10 |
| 3.4 Tratamentos | 11 |
| 3.5 Sistemas de Classificação de imagem no sector animal..... | 12 |
| 3.5.1 RGB e <i>Grayscale</i> | 14 |
| 4 Estudo | 14 |
| 4.1 Objetivos | 14 |
| 4.2 Materiais e Métodos | 15 |
| 4.2.1 Recolha de dados | 15 |
| 4.2.2 Análise de Dados | 17 |
| 5 Resultados..... | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Variável proporção..... | 23 |
| 5.1.1 | Caracterização da amostra | 23 |
| 5.1.2 | Correlação de Spearman | 25 |
| 5.1.3 | Teste de Kruskall-Wallis | 25 |
| 5.1.4 | Conclusões Proporção-Classificação | 26 |
| 5.2 | Variável Número de PRs..... | 27 |
| 5.2.1 | Caracterização da amostra | 27 |
| 5.2.2 | Correlação de Spearman | 28 |
| 5.2.3 | Teste de Kruskall-Wallis | 28 |
| 5.2.4 | Conclusões Número de PRs | 29 |
| 5.3 | Variável Proporção de um canal individual | 29 |
| 5.3.1 | Conclusões Proporção de um canal individual-Classificação | 30 |
| 5.4 | Análise da variável proporção na escala <i>Grayscale</i> | 30 |
| 5.4.1 | Correlação de Spearman | 31 |
| 5.4.2 | Teste de Kruskal-Wallis | 32 |
| 5.4.3 | Conclusões Proporção-Classificação (<i>grayscale</i>)..... | 32 |
| 6 | Discussão | 32 |
| | Bibliografia | 36 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Figura 1 – A- Evisceração dos pulmões, coração, traqueia, diafragma, fígado e vesícula bilar; B- Perceção do operador ao analisar e fotografar os pulmões; C- Corpo de inspeção sanitária. | 16 |
| Figura 2 – Imagem do lobo caudal esquerdo de um pulmão estudado e respetiva seleção da ROI | 18 |
| Figura 3 - Histograma gerado pelo programa | 19 |
| Figura 4 - Documento extraído do programa de leitura de imagens | 20 |
| Figura 5 – Exemplo do cálculo de zscore e respetiva identificação de PR's | 21 |
| Figura 6 – Excerto da folha resumo com a variável proporção visível | 22 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – A- Evisceração dos pulmões, coração, traqueia, diafragma, fígado e vesícula biliar; B- Perceção do operador ao analisar e fotografar os pulmões; C- Corpo de inspeção sanitária. | 16 |
| Figura 2 – Imagem do lobo caudal esquerdo de um pulmão estudado e respetiva seleção da ROI | 18 |
| Figura 3 - Histograma gerado pelo programa | 19 |
| Figura 4 - Documento extraído do programa de leitura de imagens | 20 |
| Figura 5 – Exemplo do cálculo de zscore e respetiva identificação de PR's..... | 21 |
| Figura 6 – Excerto da folha resumo com a variável proporção visível | 22 |

Índice de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1- Distribuição da variável proporção em função da classificação de lesões | 24 |
| Gráfico 2- Diagrama de caixas da distribuição dos valores proporção para cada nível de classificação | 26 |
| Gráfico 3 - Distribuição da variável Número de PR's em função da classificação de lesões | 28 |
| Gráfico 4 - Diagrama de caixas em grupos. Comportamento da variável proporção nos diferentes canais. | 30 |
| Gráfico 5 - Distribuição da variável proporção em função da classificação de lesões (<i>grayscale</i>) | 31 |

Lista de abreviaturas

- CVS - Sistema de visão por computador
- DRB - Doença Respiratória Bovina
- PR - pico relevante
- RGB - *red, green and blue*
- ROI – região de interesse

1 Introdução

O seguinte trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular “Estágio Curricular” do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa. O objetivo principal foi a testagem de um programa de visão computacional que no futuro poderá servir de auxílio na gestão da doença respiratória bovina (DRB) nas explorações de engorda.

A necessidade deste trabalho surge do facto de a DRB ser a doença com maior impacto económico nas explorações de engorda. Vários estudos apontam para a necessidade de novas abordagens em relação à doença. Como será amplamente descrito, as tecnologias mais recentes já demonstraram capacidade de poder vir a ser uma fonte de informação para a tomada de decisões no manejo desta síndrome. A utilização do matadouro como fonte de informação para a gestão das explorações é uma prática antiga e comum na produção animal apesar de ser menos comum nas explorações bovinas. A prática de extrair rotineiramente dados na altura do abate já se provou útil diversas vezes, principalmente na produção de suínos. A utilização e transição desses conhecimentos para a área da produção de bovinos de carne começa a ser cada vez mais comum e foi uma das razões que levou à realização deste estudo.

Assim, pretendeu-se com esta investigação recolher uma base de dados sólida de imagens de pulmões de bovinos, para que um sistema de leitura dessas mesmas imagens pudesse ser testado. Esta investigação pretendeu ainda integrar dados em vida dos animais com dados *post-mortem* de maneira a validar a utilidade do sistema em estudo.

A recolha de dados foi realizada nos arredores de Lisboa num matadouro oficial e numa exploração de engorda. O documento aborda as mais valias do sistema, assim como as suas maiores limitações. É ainda abordada a aplicabilidade deste programa no setor animal como sistema de *machine learning* associado a uma fonte de informação relativamente económica que é a captura de imagens.

2 Relatório de Estágio

O estágio curricular realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária decorreu entre setembro de 2024 e dezembro de 2024. O estágio teve um total aproximado de 700 horas.

Realizou-se na empresa Medicina de Produção Leiteira Veterinária (M.P.L.Vet) localizada em Estarreja e foi orientado pelo Dr. Nuno Tavares. Sendo a área de maior especialização da empresa a consultoria reprodutiva, as atividades práticas realizadas foram na sua maioria relacionadas com esta área como será detalhado adiante. Ainda assim, foram realizados muitos outros procedimentos clínicos, cirúrgicos, de sanidade e de qualidade de leite em várias espécies de produção nomeadamente bovinos, ovinos, suínos, caprinos.

No âmbito do serviço prestado pela empresa, a consultoria reprodutiva inclui: Ida do médico veterinário à exploração quinzenalmente ou mensalmente na qual é realizada a ecografia reprodutiva para diagnóstico de gestação e para planeamento de um protocolo reprodutivo; Realização de um protocolo de sincronização reprodutiva baseado nos programas *ovsynch*, *double ovsynch* e *shortsynch* dependendo da exploração; Inseminação artificial em explorações que necessitassem de um serviço externo; Resolução de problemas e de casos de infertilidade tendo em consideração uma visão da vacaria como um todo. Neste sentido, o aluno teve oportunidade de:

- Realizar um número considerável de palpções retais ao longo de todo o estágio onde foram aprimoradas técnicas de palpação uterina e de estruturas ováricas, assim como diagnóstico de alterações anatómicas ou patológicas em situações excecionais.

- Colocar em prática, a técnica de ecografia reprodutiva ao longo de mais de um mês. Após a realização da palpação e ecografia aos animais da exploração, como parte do serviço já descrito, o aluno observou e participou ativamente na elaboração dos protocolos reprodutivos.

- Adquirir uma vasta aprendizagem de tomada de decisão perante vacas em situações de anestro onde foi posta em prática a colocação de implantes de progesterona e a decisão conjunta com o produtor de proceder ao refugo de animais. É de notar que na maioria das explorações onde se realiza a consultoria reprodutiva, a empresa é também responsável pela componente clínica dos animais. Assim, foram acompanhados vários casos clínicos ao longo das semanas, o que permitiu um acompanhamento contínuo e uma aprendizagem integrada entre a componente clínica e reprodutiva.

As situações de redução da taxa de fertilidade generalizada numa exploração foram abordadas pelos médicos veterinários de uma perspetiva integral. Esta prática permitiu ao aluno adquirir um vasto conhecimento relacionado com fatores nutricionais onde se destaca a correta produção e manutenção de silos que incluiu uma formação dada por elementos externos à empresa especializados na área. Permitiu ainda adquirir a prática de analisar a

exploração a partir de todos os seus componentes zootécnicos, procurando a origem do problema e tendo em vista a saúde dos animais. Foram abordados diversos indicadores produtivos resultantes das análises de leite, de silos e, menos frequentemente análises sanguíneas.

A componente clínica abordada será dividida neste relatório entre a realizada em espécies bovinas e outras espécies por se adequar à casuística observada.

Bovinos:

Como já referido, os casos clínicos de bovinos tiveram um acompanhamento continuado por parte do aluno. Assim, foram diagnosticadas e tratadas doenças de grupo e doenças individuais. Nas doenças de grupo destacam-se os surtos de doença respiratória que tiveram como fator de risco a alta amplitude térmica sentida ao longo dos dias e os incêndios na região. Foram casos particularmente interessantes por causarem diminuições de produção de leite que nem sempre têm uma resolução imediata. Os casos individualizados consistiram sobretudo em pneumonias, reticulo-pericardites traumáticas, metrites, diarreias neonatais, doenças metabólicas e mastites que serão abordadas no âmbito da qualidade de leite. Foi ainda prestada assistência a vários partos. Houve também oportunidade de realizar várias eutanásias e assistir a abates de emergência autorizados pelo médico veterinário.

Restantes espécies:

A ecografia para diagnóstico de gestação em porcas e cabras foi um serviço prestado recorrentemente ao longo do estágio. Foram ainda diagnosticados vários casos de pneumonia e diarreias por infeção por coccídias em caprinos, ovinos e suínos.

Profilaxia e descornas:

Foram realizados vários protocolos de vacinação e desparasitação em bovinos tanto no contexto das vacarias de leite como em explorações de engorda. Os conhecimentos relativos à tomada de decisão de que vacinas e antiparasitários aplicar no contexto de uma vacaria foram consolidados ao longo do estágio.

Efetuaram-se várias descornas com ferro quente em vitelos e com cabo de aço em animais adultos onde foram aplicados conhecimentos de anestesia local, sedação e controlo de dor.

Em relação às atividades cirúrgicas, foram realizadas cirurgias de resolução de deslocamentos de abomaso à esquerda, deslocamento de abomaso à direita e prolapso vaginais. Foram ainda realizadas castrações em suínos e cesarianas em vacas. Foram postos em prática vários conhecimentos de assepsia, anestesia, controlo de dor, controlo de infeção, manuseamento de tecidos e sutura.

A empresa prestava ainda um serviço de qualidade de leite. O aluno colheu, semeou e cultivou várias amostras de leite para identificação de agentes infecciosos causadores da

mastite e para realização de testes de sensibilidade a antibióticos. Os meios utilizados foram Columbia Agar 5% SB, *Mueller Hinton* II e o sistema *Accumast*® que inclui vários meios de cultura seletivos, diferenciais e cromogénicos. A esta prática esteve associada a aprendizagem relativa ao tratamento de mastite e o manejo desta doença numa exploração.

3 Revisão de Literatura

3.1 Definição de Doença Respiratória Bovina

A Doença Respiratória Bovina (DRB) é amplamente reconhecida como uma das doenças mais comuns e dispendiosas que afetam o gado bovino em todo o mundo. Trata-se de uma doença multifatorial influenciada por fatores infecciosos, ambientais e de manejo (Taylor et al. 2010).

3.1.1 Caracterização da infecção

Os principais agentes virais envolvidos na Doença Respiratória Bovina (DRB) incluem o vírus da Rinotraqueíte Infecciosa Bovina (IBR), o vírus sincicial respiratório bovino (BRSV), o vírus da Parainfluenza Bovina (PI3), o vírus da Diarreia Viral Bovina (BVD) e o coronavírus bovino. Entre os agentes bacterianos mais frequentemente isolados estão *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida*, *Histophilus somni* e *Mycoplasma bovis* (Griffin et al. 2010).

De acordo com Griffin et al. (2014) a maior parte dos agentes bacterianos não são capazes de causar doença significativa sem a existência de fatores predisponentes. Geralmente, a infecção primária é de origem viral, ocorrendo frequentemente em animais imunodeprimidos devido a fatores ambientais e de stress. As bactérias adotam frequentemente um comportamento oportunista provocando infecção no aparelho respiratório quando o sistema imunitário já se encontra enfraquecido (Schneider et al. 2009; Griffin et al. 2010), sendo a exceção *Mycoplasma bovis* que é agente primário de doença respiratória. No contexto da engorda, o transporte dos animais antes da entrada na exploração é um fator desencadeador comum da doença, pois expõe os bovinos a um ambiente desconhecido, temperaturas baixas e situações de stress. Além disso, condições como elevada humidade, ventilação inadequada e exposição a gases tóxicos, como o amoníaco, são amplamente reconhecidas como fatores predisponentes à doença (Chai et al. 2022).

3.1.1.1 Particularidades do sistema respiratório bovino

A espécie bovina apresenta particularidades anatómicas e fisiológicas que justificam a sua elevada predisposição para doenças respiratórias. Comparativamente a outras espécies, os bovinos possuem uma frequência respiratória elevada e um transporte mucociliar aproximadamente 50% mais lento, o que compromete a remoção de partículas e agentes patogénicos do trato respiratório. Além disso, apresentam septos interalveolares espessos e com baixa elasticidade, uma característica que dificulta a expansão pulmonar e a troca gasosa eficiente (Veit and Farrell 1978).

Outro fator limitante é a elevada compartimentação pulmonar, que reduz a drenagem de exsudados e favorece a progressão de pneumonias lobares crónicas. Adicionalmente, a relação entre a área funcional pulmonar e o peso corporal é inferior à de outras espécies, o

que pode comprometer a oxigenação eficiente em situações de doença respiratória. A árvore brônquica dos bovinos é relativamente estreita, e os alvéolos terminais situam-se no fim dos bronquíolos, aumentando a suscetibilidade a obstruções em casos de inflamação (Veit and Farrell 1978; Stilwell 2013a).

Do ponto de vista imunológico, os bovinos possuem um menor número de macrófagos alveolares, reduzindo a capacidade de resposta imunológica local e tornando-os mais vulneráveis a infecções respiratórias. Além disso, apresentam maior suscetibilidade à ação de *Mannheimia haemolytica* e da sua leucotoxina, uma toxina que induz necrose e lesões pulmonares extensas, agravando a progressão da doença (Ackermann and Brogden 2000).

3.1.2 Combate e Impacto económico

O combate contra a DRB inclui medidas profiláticas e metafiláticas. Com o aumento dos custos dos tratamentos e com a crescente preocupação relativa às resistências aos antibióticos, os meios profiláticos têm sido alvo de extensa investigação. A importância da profilaxia tem aumentado também com os vários estudos que surgiram a sugerir que animais com doença subclínica apresentavam pior *performance* produtiva. Vários estudos concluem que a complexidade da DRB faz com que o combate contra a doença implique um regime que integre todas as fases da vida do animal e todos os fatores clínicos e ambientais da exploração (Edwards 2010; Griffin 2014; Berman 2024).

O impacto económico da DRB é significativo, envolvendo custos diretos, como mortalidade, despesas veterinárias e tratamentos, e custos indiretos, como redução do desempenho produtivo, que pode prolongar a permanência dos animais na exploração e gerar menor rendimento ao abate (Silva D 2021). O cálculo dos custos associados à DRB é complexo e muitas vezes difícil de ser calculado pelo produtor (van der Fels-Klerx et al. 2001). Nos Estados Unidos, estima-se que a Doença Respiratória Bovina (BRD) cause perdas económicas anuais entre 2 e 3 mil milhões de dólares apenas na indústria de bovinos em engorda em regime de feedlot (Taylor et al., 2019). Em Portugal, o custo acrescido para um lote de 100 vitelos de engorda com DRB é estimado em 5900€ de acordo com o cálculo apresentado na Revista Ruminantes (Silva D 2021).

No âmbito destas investigações, tem sido reforçada a importância das lesões pulmonares identificadas após o abate dos animais. Um estudo que utilizou dados do Texas, concluiu que animais com lesões pulmonares graves ao abate cresceram menos 0,3 kg/dia e, tiveram carcaças 14,3 kg mais leves (Griffin 1997). Uma análise da Beef Magazine reportou que o custo total da DRB, incluindo mão de obra, custo de antibióticos, redução na produção e qualidade da carcaça, e aumento dos dias de alimentação, foi de \$37 por cabeça para animais tratados uma vez, \$166 por cabeça para aqueles tratados duas vezes, e \$230 por cabeça para animais tratados três ou mais vezes (Beck 2022). Para além disso, as lesões

pulmonares permitiram identificar animais com quadros subclínicos que apresentaram pior performance e não eram considerados nos impactos económicos da doença (Griffin 1997; Thompson et al. 2006).

3.2 Maneio e prevenção

Como foi anteriormente referido, a DRB é uma doença multifatorial, resultante da interação entre agentes patogénicos (vírus e bactérias), fatores ambientais e o estado imunitário do animal. A complexidade desta síndrome respiratória está associada a um maneio e prevenção complexos. De acordo com uma revisão de literatura publicada em 2010 pela *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, as principais práticas de maneio e prevenção a ter em conta são: garantir a transferência passiva de imunidade; as condições de higiene e ventilação; vacinação; existência de espaços de quarentena (Gorden and Plummer 2010).

É importante notar que o maneio da DRB terá características diferentes de exploração para exploração (Edwards 2010). Dubrovsky et al.(2019), por exemplo, destacam que as práticas de maneio desempenham um papel crucial na mortalidade dos vitelos, incluindo fatores como a higiene da maternidade, práticas de encolostramento e protocolos de vacinação das vacas, sublinhando a importância de adaptar o maneio às características específicas de cada exploração para reduzir o impacto da DRB.

3.2.1 Especificidades de uma exploração de engorda

No contexto de uma exploração de engorda, vários fatores dificultam o maneio da DRB. Entre eles, destaca-se a entrada constante de animais de diferentes origens, o que favorece a introdução e circulação de novos agentes infecciosos. Além disso, todos os animais da exploração já foram transportados pelo menos uma vez ao longo da vida, um processo que representa um fator de stress significativo (Taylor et al. 2010). O elevado número de animais por área e a mistura de bovinos de diferentes origens e idades também contribuem para a disseminação da doença (Deepak et al. 2021). A adaptação à alimentação de engorda, bem como variações na ventilação, humidade e exposição a gases como o amoníaco, podem comprometer a saúde respiratória dos animais (Schneider et al. 2010). Por fim, diferenças nos protocolos de vacinação e tratamentos prévios tornam o controlo sanitário mais complexo, especialmente nas primeiras semanas após a chegada dos animais à exploração.

Dada a complexidade da gestão da DRB no contexto de uma engorda, a bibliografia sugere que cada exploração deve conhecer, da forma mais detalhada possível, os agentes infecciosos em circulação, os padrões epidemiológicos da doença e as fragilidades específicas da infraestrutura e do maneio. Para isso, a realização de diagnóstico laboratorial periódico, incluindo cultura bacteriana, PCR ou serologia, permite um diagnóstico mais preciso dos principais agentes etiológicos envolvidos (Cusack et al. 2003; Berman 2024).

Além disso, o conhecimento das condições ambientais da exploração, como qualidade da ventilação, densidade animal, nível de humidade e carga de gases tóxicos, é essencial para a implementação de estratégias de controlo mais eficazes. A partir dessa base, é possível desenvolver protocolos de tratamento direcionados aos agentes predominantes, reduzindo o uso desnecessário de antimicrobianos e melhorando as taxas de recuperação. Da mesma forma, um planeamento vacinal ajustado ao perfil epidemiológico da exploração pode aumentar a resistência dos animais à doença, especialmente quando integrado com medidas de redução de stress (Bailey et al. 2016).

No entanto, mesmo com um bom controlo sanitário na engorda, a fase prévia ao transporte tem um impacto significativo na suscetibilidade dos animais à DRB. Programas de *preconditioning* têm demonstrado reduzir a incidência e gravidade da doença. Portanto, a adoção de medidas preventivas desde a origem dos animais pode ser um fator determinante para minimizar os desafios sanitários na fase de engorda (Hilton 2015).

3.2.2 Preconditioning

O *preconditioning* é um conjunto de práticas de manejo aplicadas antes da venda ou transporte dos bezerros para a fase de engorda, que tem como objetivo preparar os animais para uma nova etapa de produção, reduzindo a conjugação dos vários fatores de stress e fortalecendo a resposta imunitária. A sua base conceptual assenta na separação dos vários fatores de stress como o desmame, a vacinação e o transporte de forma faseada, permitindo que o animal tenha tempo para recuperar e desenvolver imunidade antes do procedimento seguinte que poderá comprometer a saúde do mesmo. Não existe um consenso em relação à melhor idade para aplicar cada medida causadora de stress, incluindo a vacinação na exploração de origem e o desmame (Edwards 2010; Bailey et al. 2015; Bailey et al. 2016). De acordo com a revisão de literatura publicada em 2015 pela Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, o *preconditioning* de bezerros pode melhorar significativamente a saúde e o desempenho dos animais, além de potencialmente aumentar a rentabilidade para os produtores. No entanto, é essencial avaliar cuidadosamente os custos e benefícios específicos de cada exploração e operação antes de implementar um programa (Hilton 2015).

3.2.3 Métodos de diagnóstico

Em relação ao diagnóstico da DRB, os métodos mais utilizados consistem em sistemas de classificação de sinais clínicos. Os sinais incluídos nestes sistemas costumam incluir tosse, depressão, descarga ocular e nasal, posição das orelhas, e temperatura rectal (Love et al. 2014; Berman et al. 2022; Donlon et al. 2024). Para além dos métodos de classificação de sinais clínicos, a auscultação torácica é também amplamente utilizada e, mais recentemente, a ecografia (Porter et al. 2021; Fiore et al. 2022). A importância de um diagnóstico precoce é

referida em vários estudos, já que a identificação e tratamento dos animais numa fase inicial da infeção resulta em maior performance produtiva e num menor impacto económico (McGuirk and Peek 2014; Berman 2024). De acordo com uma revisão de literatura publicada em 2024, a ecografia parece ser um sistema promissor por permitir um diagnóstico precoce comparativamente aos restantes métodos (Berman 2024). Ainda que o diagnóstico precoce seja essencial para diminuir as perdas por DRB, estudos demonstram que animais com doença subclínica que apresentam lesões pulmonares, apresentam menor rendimento e qualidade de carcaça (Fernández et al. 2020; Silva D 2021). Uma monitorização deficiente da DRB subclínica pode representar grandes perdas económicas na exploração (Griffin 2014). Assim, a prevenção e o sucesso no tratamento da DRB exigem uma visão integrada que tenha em conta não apenas a escolha do antimicrobiano, mas também fatores como manejo sanitário, ambiente e práticas de administração dos medicamentos (Booker and Lubbers 2020; Smith et al. 2020). Apesar dos avanços, as taxas de morbilidade associadas à DRB não apresentaram mudanças significativas ao longo do tempo. Existe uma necessidade de abordagens inovadoras e integradas para enfrentar os desafios persistentes da DRB (Smith et al. 2020; Kamel et al. 2024).

3.3 Lesões pulmonares

A maior parte dos estudos existentes referentes à avaliação de lesões pulmonares em bovinos, abordam as lesões do ponto de vista da patologia veterinária e não do ponto de vista do impacto produtivo. Existem assim, vários métodos de avaliação de lesões que permitem distinguir as várias doenças do complexo respiratório bovino, assim como alguns agentes causais (Panciera and Confer 2010; Di Provvido et al. 2018).

Ainda assim, no contexto da clínica de bovinos surgiram estudos que compararam lesões com dados produtivos e dados de procedimentos realizados aos animais em vida. Por exemplo, Leruste et al.(2012) relacionaram lesões pulmonares com sinais clínicos em vida ao verificarem uma prevalência de 68% de patologia em mais de 150 lotes observados. Propuseram que estas lesões pudessem vir a ser utilizadas como critérios de bem-estar da exploração. Por outro lado, estudos demonstraram que animais nos quais nunca foram detetados sinais clínicos apresentam lesões pulmonares (Thompson et al. 2006; Stilwell 2013b; Fernández et al. 2020). De acordo com Thompson, a observação e avaliação de lesões pulmonares permitiu determinar a eficácia dos tratamentos realizados em vida, ao observar que a DRB subclínica ocorreu em 29,7% dos casos, enquanto a DRB clínica afetou 22,6% dos animais. E ainda que a DRB subclínica resultou numa redução de 91 g ($P < 0,001$) do GMD (Thompson et al. 2006). Fernández et al. (2020) determinaram que 17,9% dos bovinos analisados apresentavam lesões pulmonares compatíveis com pneumonia, apesar de serem considerados clinicamente saudáveis no momento do abate e que a presença dessas lesões

esteve associada a uma redução significativa no peso da carcaça, com maior impacto em machos provenientes de sistemas intensivos.

3.3.1 Contexto do setor suíno

No contexto das lesões pulmonares observadas em matadouros, é importante notar que esta prática de avaliação é mais comum no setor dos suínos. A maior incidência desta prática deve-se, em grande parte, ao elevado nível de intensificação da suinicultura e à predominância de sistemas de produção integrados, que permitem um acompanhamento contínuo do desempenho zootécnico e sanitário dos lotes ao longo do ciclo produtivo (Santos et al. 2014).

Diversos estudos propuseram escalas de pontuação pulmonar para diferentes objetivos, como a avaliação da prevalência de doenças respiratórias e a estimativa do impacto económico das lesões pulmonares. Hill et al. (1994) demonstraram que um aumento de 10% no peso de pulmão pneumónico estava associado a uma redução de 31,4 g no ganho médio diário (GMD) e a um prolongamento de 13,2 dias no tempo até ao abate, evidenciando o impacto significativo das lesões pulmonares na performance produtiva. Merialdi et al. (2012) avaliaram a eficácia de uma vacina viva contra agentes respiratórios suínos por meio da inspeção de lesões pulmonares em matadouro e concluíram que a monitorização de lesões pulmonares e pleurite pode servir como uma ferramenta epidemiológica para identificar fatores de risco a nível populacional e implementar medidas preventivas mais eficazes.

No entanto, apesar da importância das escalas de pontuação pulmonar, um dos desafios apontados na literatura é a falta de padronização nos métodos de avaliação, o que pode comprometer a comparabilidade dos dados entre diferentes estudos e sistemas produtivos. Steinmann et al. (2014) e Garcia-Morante et al. (2016) destacaram a necessidade de um sistema uniforme para a classificação das lesões pulmonares, de modo a permitir a sua aplicação em diferentes contextos e melhorar a utilidade dos dados obtidos. A uniformização da inspeção sanitária foi também abordada num estudo publicado que sugeriu a criação de um sistema universal de pontuação para lesões pulmonares em suínos, permitindo a padronização dos registos e facilitando a análise epidemiológica e a tomada de decisões sanitárias (Steinmann et al. 2014).

Assim, as lesões pulmonares podem ser utilizadas como indicadores da performance produtiva e da eficácia de tratamentos e vacinas. A utilização de imagens digitais associada a técnicas de *machine learning* representa uma alternativa promissora para a classificação objetiva das lesões pulmonares, reduzindo a subjetividade das avaliações visuais e promovendo a uniformização dos dados coletados em matadouros. Dessa forma, o uso de tecnologias avançadas pode facilitar a implementação de sistemas de monitorização contínua, contribuindo para a melhoria da sanidade e da eficiência produtiva.

3.4 Tratamentos

O tratamento da DRB tem como bases principais a administração de anti-inflamatórios e de antimicrobianos. A terapêutica parte do princípio de que estão vírus e bactérias envolvidos na infecção, sendo que muitas das infecções bacterianas são secundárias a uma infecção primária (viral ou bacteriana). A realização de terapêutica anti-inflamatória na doença respiratória não é completamente consensual. Por um lado, foi observado que permite reduzir a temperatura, a tosse e a congestão pulmonar, e ainda, prevenir uma eventual disfunção residual pulmonar e combater o efeito de toxinas bacterianas (Barrett 2000; Masebo et al. 2024). Por outro lado, Koster et al. (2022) concluíram que a adição de anti-inflamatório à terapia de antimicrobianos quando comparada a uma terapia isolada de antibióticos, não apresentava uma maior taxa de resolução clínica.

Em relação à utilização de antimicrobianos, não existe nenhuma *guideline* europeia oficial específica da DRB. Assim, a decisão clínica deve ter por base a classificação da EMA dos antibióticos em vários grupos de acordo com a sua importância para a saúde humana e potencial de causar resistências (European Medicines Agency 2020), o conhecimento dos agentes etiológicos mais comuns na exploração e as taxas de sucesso experimentadas em surtos anteriores na exploração (Gorden and Plummer 2010). Destes critérios resulta que os antibióticos mais comumente utilizados para tratamento da DRB em explorações de engorda sejam penicilinas potenciadas, tetraciclina e florfenicol (Edwards 2010; Gorden and Plummer 2010; Nickell and White 2010). O uso de florfenicol demonstrou ser útil, sobretudo, no tratamento de doenças respiratórias bovinas (DRB) associadas a *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida* e *Histophilus somni* apresentando uma taxa de sucesso terapêutico de 71,7% após administração subcutânea em dose única (U.S. FDA 2008). De acordo com um estudo realizado em quatro engordas comerciais nos Estados Unidos, a utilização de tulatromicina revelou-se uma opção terapêutica superior face ao florfenicol e à tilmicosina no tratamento da DRB em bovinos de engorda, resultando em taxas de cura significativamente mais elevadas e menor número de tratamentos adicionais, sem comprometer o desempenho produtivo ou as características da carcaça (Skogerboe et al. 2005). Uma análise comparativa realizada entre a oxitetraciclina e o florfenicol demonstrou diferenças estatisticamente significativas. O florfenicol foi associado a melhores desfechos clínicos, incluindo menor taxa de mortalidade e de retratamento, quando comparado com a oxitetraciclina. Estes resultados sugerem que o florfenicol pode ser uma opção mais eficaz em contextos clínicos semelhantes, embora a escolha do antimicrobiano deva considerar também fatores como custo, via de administração, e restrições regulamentares (Jourquin et al. 2025). Masebo et al. (2024) avaliaram diferentes protocolos de tratamento da Doença Respiratória Bovina associada a *Mycoplasma bovis* e observaram que a administração de tulatromicina isoladamente ou combinada com outro antibiótico, não teve efeito estatisticamente significativo sobre os sinais

clínicos aos 15 dias nem sobre a presença de lesões pulmonares ao abate. Em contraste, os animais tratados com anti-inflamatórios não esteroides apresentaram menos lesões pulmonares, sugerindo maior eficácia nesta abordagem.

Em relação à aplicação de protocolos metafiláticos, estes devem estar incluídos no plano de profilaxia e tratamento da exploração, devidamente documentado, e respeitar o uso responsável dos antimicrobianos em linha com as recomendações da Agência Europeia de Medicamentos (EMA) (Reg. (UE) 2019/6). Estudos demonstram que a implementação de protocolos metafiláticos em bovinos considerados de alto risco pode reduzir significativamente a morbidade por DRB e melhorar o desempenho zootécnico, sobretudo nas primeiras semanas após a chegada ao centro de engorda, período em que os animais enfrentam múltiplos fatores de stress que comprometem a resposta imunitária. No entanto, a decisão de aplicar esta estratégia deve ser ponderada, atendendo ao risco de resistência antimicrobiana e às exigências crescentes em termos de bem-estar animal e segurança alimentar (Nickell and White 2010).

Registos de tratamentos foram comparados com lesões pulmonares em diferentes contextos. Existem estudos em que são recolhidos todos os tratamentos realizados aos animais ao longo da sua vida, assumindo que a cada tratamento correspondeu um surto, ou seja, comparam lesões com o número de surtos de DRB (Schneider et al. 2009; Holland et al. 2010). Por outro lado, como já foi referido, Thompson utilizou lesões pulmonares para provar a eficácia de alguns tratamentos contra a DRB (Thompson et al. 2006).

3.5 Sistemas de Classificação de imagem no sector animal

A utilização de sistemas de leitura e análise de imagens tem vindo a ganhar espaço na cadeia de produção de carne e em outros setores da indústria animal, desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade, segurança e eficiência dos processos. No Brasil, por exemplo, a empresa Soma Solution, em parceria com a Hikrobot, desenvolveu sensores e sistemas de visão computacional especificamente para a indústria alimentar. Estas tecnologias permitem a deteção de defeitos no processamento e embalamento de produtos, como a presença de partículas metálicas indetetáveis a olho nu, aumentando significativamente a segurança alimentar e reduzindo o risco de contaminação para os consumidores (Hikrobotics 2025). A associação de criadores brasileira Acrissul entrevistou em 2024 o “gerente de automação” da SomaSolution que revelou com mais detalhe um avanço significativo na inspeção automatizada de carnes de frango, particularmente no controlo de vestígios de sangue. A indústria frigorífica que abastece países árabes, por exemplo, exige que os frangos embalados estejam completamente isentos de sangue. A implementação de câmaras de alta precisão e sistemas de visão computacional permite identificar quaisquer resíduos sanguíneos remanescentes, assegurando que os produtos cumprem os padrões

exigidos pelo mercado e reduzindo a subjetividade e a variabilidade associadas à inspeção humana (Acrissul 2024).

O setor avícola também tem beneficiado de avanços tecnológicos semelhantes. De acordo com a revista A Hora do Ovo, a empresa Yamasa lançou um sistema de ovoscopia automática que utiliza câmaras e inteligência artificial para detetar ovos sujos ou defeituosos (A Hora do Ovo 2018). Esse sistema não só automatiza o processo de inspeção, como também elimina a necessidade de intervenção humana direta, otimizando a linha de produção e garantindo maior precisão na triagem dos produtos (Yamasa 2018). Ainda no setor avícola, a empresa Ceva Santé Animale criou um sistema de leitura e classificação de imagem que permite a sexagem de ovos em incubação. Este sistema proporcionou uma maior eficiência produtiva às explorações ao conseguir identificar o sexo das aves com uma exatidão de 97%. Além disso, reduz erros associados à fadiga, permite um processamento mais rápido e padronizado e integra ferramentas de recolha de dados que possibilitam um controlo de qualidade em tempo real (Ceva Santé Animale 2024).

No campo da saúde animal e da patologia, a aplicação de tecnologias de leitura de imagem está a ser explorada como uma ferramenta complementar à avaliação *post-mortem* de doenças. Em 2023, Bortoluzzi et al. desenvolveram um modelo que demonstrou potencial para auxiliar no diagnóstico *post-mortem* de patologias pulmonares em bovinos. O estudo revelou uma concordância moderada entre a avaliação histopatológica convencional e a classificação baseada em análise de imagem, com uma precisão média variando entre 34% e 41%, dependendo do tipo de imagem e do método de rotulagem utilizado. Apesar dos desafios, este trabalho evidenciou a viabilidade do uso de visão computacional para aprimorar o diagnóstico *post-mortem*, reduzindo a subjetividade da avaliação manual e facilitando a padronização dos diagnósticos (Bortoluzzi et al. 2023).

Outro estudo relevante, propôs um novo sistema de pontuação para avaliar as lesões pulmonares causadas pela pleuropneumonia contagiosa bovina (*Contagious Bovine Pleuropneumonia - CBPP*), provocada por *Mycoplasma mycoides*. A investigação demonstrou que a uniformização da avaliação *post-mortem* dessas lesões, aliada à digitalização e análise de imagens, pode fornecer dados valiosos sobre a saúde do efetivo. Além disso, a integração dessas tecnologias pode melhorar a rastreabilidade das doenças, permitindo um acompanhamento mais preciso e um controle sanitário mais eficiente (Di Provido et al. 2018).

Diante deste panorama, fica evidente que há uma abertura crescente para a introdução de tecnologias de leitura e análise de imagens no setor animal. O desenvolvimento de novas metodologias baseadas em visão computacional pode contribuir significativamente para a classificação e diagnóstico de condições patológicas, melhorando a eficiência e a precisão dos processos.

3.5.1 RGB e Grayscale

3.5.1.1 Definições e conceitos base

Os sistemas de visão por computador (CVS) são conjuntos integrados de hardware (como câmaras) e software (algoritmos de processamento de imagem) que processam e interpretam imagens para extrair informação útil. Estes podem utilizar o sistema *red, green and blue* (RGB). Este sistema pode ser definido como um sistema de visão por computador onde as cores vermelho, verde e azul são combinadas em diversas intensidades para reproduzir uma ampla gama de cores.

Grayscale ou escala de cinzentos, refere-se a um processo de simplificação dos dados extraíveis de um sistema RGB. A utilidade prática passa por realçar formas, bordas ou áreas de interesse de uma imagem.

3.5.1.2 Aplicações biológicas de CVS's

A aplicabilidade de CVS's na indústria tem aumentado significativamente ao longo dos anos (Ulrici et al. 2012). O sector da produção animal tem beneficiado deste tipo de tecnologia em diferentes contextos (Li et al., 2021).

Em 2012, um estudo utilizou um sistema RGB para detetar o defeito de pele vermelha em fiambres crus, oferecendo uma alternativa mais rápida e objetiva em comparação com a inspeção visual tradicional. A utilização de imagens RGB, aliada a técnicas de processamento de imagem, facilitou a tomada de decisões na linha de produção (Ulrici et al. 2012).

No sector da aquacultura, foi testado um sistema que pretende prever as características de abate dos animais através da captura de imagens em vida. O sistema melhorou a previsão da percentagem de gordura em relação aos métodos tradicionais. O estudo propõe que com um sistema funcional aplicado à exploração seja possível desenhar programas genéticos através dos dados retirados das imagens (Xue et al. 2023).

Em 2023, uma revisão sistemática sobre a utilização de CVS's em matadouros concluiu que a maior parte dos sistemas apresentam boa sensibilidade e baixa especificidade. Até à data os sistemas funcionavam melhor em frangos que em ruminantes e suínos. É necessária uma maior testagem para que a tecnologia se desenvolva em suínos e bovinos (Sandberg et al. 2023).

4 Estudo

4.1 Objetivos

Como foi mencionado, a análise das lesões pulmonares pode representar uma ferramenta valiosa na monitorização da sanidade respiratória dos efetivos, bem como na avaliação da eficácia de medidas terapêuticas e profiláticas. A subjetividade inerente à avaliação visual tradicional constitui uma limitação reconhecida, sendo cada vez mais referida

a importância de se recorrer a métodos objetivos e padronizados. Neste contexto, a utilização de tecnologias digitais, associadas a métodos computacionais de classificação, apresenta-se como uma alternativa promissora, capaz de promover a uniformização dos dados recolhidos em matadouros e de gerar informação relevante.

Assim, o presente estudo tem como objetivo geral desenvolver e validar um método padronizado para a análise objetiva de lesões pulmonares, com base na extração de dados a partir de imagens digitais recolhidas em matadouro.

Objetivos específicos incluíram:

- Fotografar sistematicamente os pulmões de bovinos abatidos.
- Converter as imagens obtidas em dados numéricos (valores RGB e escala de cinza) que permitam análise computacional.
- Comparar os dados extraídos com a avaliação visual das lesões realizada segundo uma escala de 0 a 3.
- Estudar a hipótese de existir um canal de cor que se correlaciona melhor com as lesões em relação aos restantes.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Recolha de dados

A recolha de dados consistiu na captura de fotografias de pulmões de 82 bovinos provenientes de uma engorda, e na recolha de registos de tratamentos realizada aos animais durante a fase de engorda.

As imagens foram recolhidas num matadouro oficial. A captura foi realizada após a evisceração dos pulmões, fígado, esófago, traqueia e diafragma e antes da inspeção sanitária dos mesmos (figura 1). Cada pulmão foi fotografado um mínimo de duas vezes: uma fotografia do lobo caudal direito; uma fotografia do lobo caudal esquerdo.

As imagens utilizadas para a avaliação das lesões pulmonares foram captadas com um iPhone 13 mini (Apple Inc., Cupertino, CA, EUA). Este dispositivo possui um sistema de câmara dupla traseira, com as seguintes especificações relevantes:

- câmara grande angular (wide): resolução: 12 megapíxeis; abertura: $f/1.6$; distância focal equivalente: 26 mm; estabilização ótica da imagem (OIS).
- câmara ultra grande angular (ultra-wide): resolução: 12 megapíxeis; abertura: $f/2.4$; campo de visão: 120° ; distância focal equivalente: 13 mm.

As fotografias foram tiradas utilizando a aplicação nativa da câmara, em modo fotográfico padrão (JPEG), sem aplicação de filtros ou pós-processamento.



Figura 1 – A- Evisceração dos pulmões, coração, traqueia, diafragma, fígado e vesícula biliar; B- Percepção do operador ao analisar e fotografar os pulmões; C- Corpo de inspeção sanitária.

4.2.1.1 Escolha dos lobos pulmonares

Os lobos pulmonares escolhidos foram os lobos caudais como já referido. Sendo o objetivo final a criação de um sistema autónomo que analisa os pulmões através de imagens dos mesmos, foram testados os lobos caudais por serem os lobos que são visíveis no contexto do matadouro sem que ocorra intervenção humana. Foi escolhida a face dorsal de cada lobo para ser fotografada por ser a face que mais vezes se encontra visível e por ser a face onde menos vezes existem outros órgãos, como a traqueia a cobrir a área de interesse.

4.2.1.2 Avaliação dos pulmões

Cada par de pulmões foi avaliado visualmente e por palpação pelo autor utilizando uma escala de 4 valores (entre 0 e 3). A escala utilizada teve como base a criada e descrita por Leruste e associados. Foram ainda adicionados os critérios utilizados por Thompson e associados para que as lesões fibrosas e fibrinosas pudessem ser consideradas (Thompson et al. 2006; Leruste et al. 2012). Esta avaliação teve em conta a observação de lesões em toda a extensão de todos os lobos pulmonares. Os critérios utilizados foram os seguintes: áreas de consolidação pulmonar; número de lobos afetados; presença de aderências fibrosas e/ou fibrinosas; presença de lesões focais circunscritas e bem delimitadas.

Aplicação da escala:

- 0- Pulmões onde não é observável qualquer alteração.
- 1- Pulmões com um ou dois lobos afetados, em que as lesões não afetam mais de 50% do lobo. Presença de aderências em apenas um lobo.
- 2- Lesões que afetam mais de 50% da extensão de um ou mais lobos, ou presença de lesões em três a quatro lobos. Aderências presentes em dois ou mais lobos. Pulmões com um lobo totalmente afetado não são incluídos neste grau.
- 3- Lesões que afetam a totalidade de pelo menos um lobo ou envolvem mais de quatro lobos. Presença de aderências extensas associadas a outras lesões.

4.2.1.3 Identificação dos animais:

A ordem de abate foi recolhida em cada visita ao matadouro. Foi registado o número oficial de cada animal para posterior comparação de dados com a exploração de origem. Após cada visita ao matadouro foram cruzados os dados: dia de abate, número interno do matadouro, número oficial, classificação dos pulmões. O número oficial foi posteriormente utilizado para extrair informações sobre cada animal. As informações passíveis de serem extraídas são: a idade, o peso ao abate, o sexo, a raça e os tratamentos efetuados em vida.

Os animais que foram alvo de estudo estavam na sua maioria identificados como cruzados de carne. Existia uma pequena percentagem de animais *Limousine*, *Salers* e *Blonde d'Aquitaine*.

4.2.2 Análise de Dados

4.2.2.1 Sistemas de Visão Computacional

As imagens digitais recolhidas foram analisadas utilizando um sistema de visão por computador, com o objetivo de extrair informações cromáticas relevantes de regiões de interesse (ROI – *Region of Interest*). Para a análise da cor das imagens digitais de pulmões obtidas em matadouro, foi desenvolvido um programa em *Python*, recorrendo às bibliotecas

NumPy, *Matplotlib* e *Tkinter*. As imagens foram carregadas individualmente através de uma interface gráfica desenvolvida com *Tkinter*

Cada ROI foi manualmente definida com base na área pulmonar visível, excluindo zonas não relevantes da imagem (figura 2).

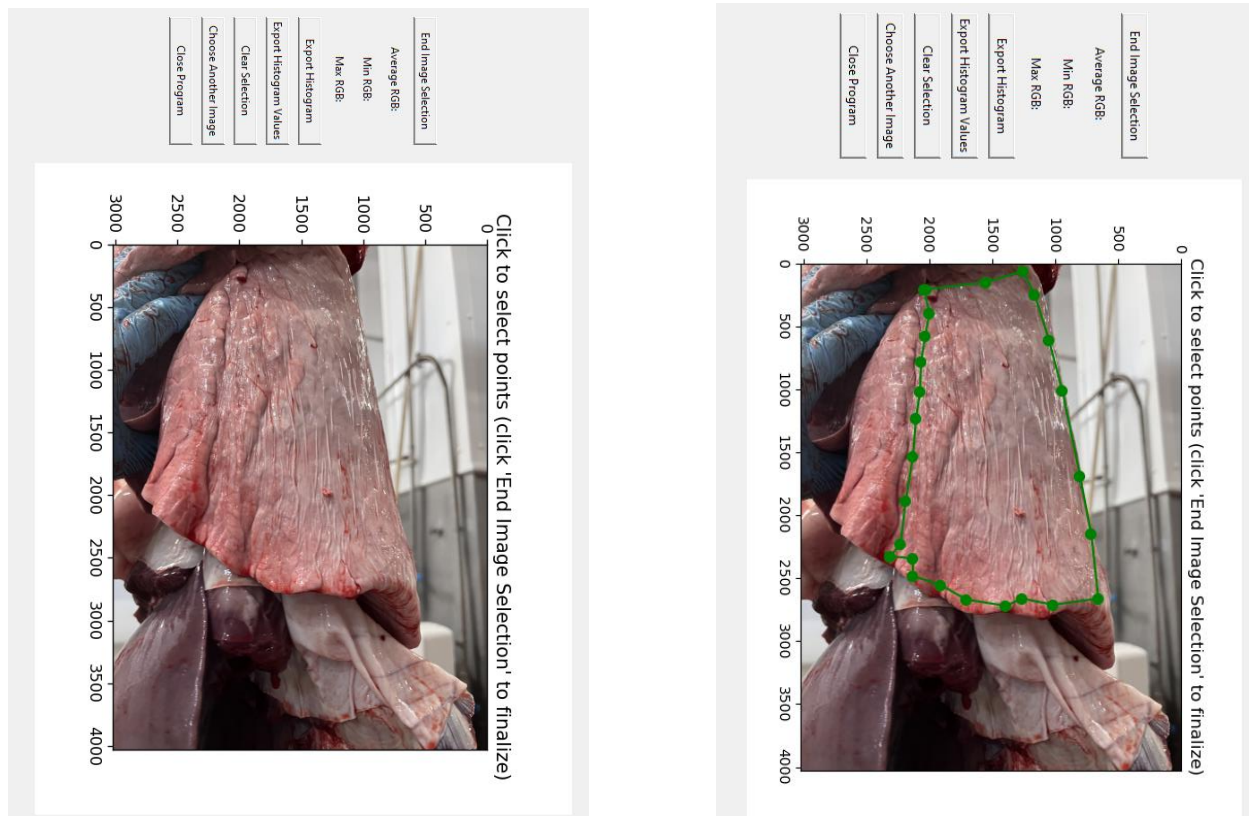


Figura 2 – Imagem do lobo caudal esquerdo de um pulmão estudado e respetiva seleção da ROI

Para cada ROI, o programa calcula os valores médios de intensidade dos três canais de cor — vermelho (R), verde (G) e azul (B) — com base nos dados de cada pixel. Estes valores foram armazenados individualmente para posterior análise estatística. As imagens analisadas apresentavam codificação de 8 bits por canal, o que significa que para cada pixel, cada cor (R, G e B) pode assumir valores inteiros entre 0 e 255. Esta codificação baseia-se em combinações de 8 bits — pequenos blocos de informação digital, onde cada bit pode estar “ligado” (1) ou “desligado” (0). Com 8 bits, é possível representar $2^8 = 256$ valores distintos por canal. Como cada pixel contém três canais (RGB), isso resulta num total de mais de 16 milhões de combinações de cores possíveis ($(2^8)^3 = 16.777.216$)

Para facilitar a análise e reduzir a complexidade dos dados, procedeu-se também à conversão das imagens RGB para escala de cinzento (*grayscale*). Esta conversão consiste na obtenção de um único valor de intensidade luminosa por pixel, calculado a partir de uma

combinação ponderada dos três canais de cor, utilizando a fórmula recomendada pela União Internacional das Telecomunicações (Recomendação ITU-R BT.601 (2011)):

$$\textit{Gray scale} = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B$$

Estas ponderações refletem a sensibilidade do olho humano às diferentes componentes cromáticas, atribuindo maior peso à componente verde. O resultado é uma imagem monocromática que conserva a informação de brilho, facilitando a visualização de formas, bordas e áreas de interesse.

Para cada ROI, o programa gerou histogramas de intensidade separados para os canais vermelho, verde, azul e também para a imagem em escala de cinzento (figura 3). Cada histograma foi construído com base numa divisão pré-definida do intervalo de intensidade (0 a 255) em subintervalos regulares de 12,75 unidades (*bins*). Para cada bin, foi registado o número de pixels cuja intensidade se enquadrava nesse intervalo. Este método permite descrever quantitativamente a distribuição cromática e luminosa de cada ROI, possibilitando a identificação de padrões associados à presença e grau de lesões pulmonares. Na figura 4 encontra-se um exemplo de um documento extraído do programa com as distribuições de pixels por cada bin. Por exemplo, para o canal *blue*, existem 1485 pixels que têm uma intensidade RGB entre 0-12,75 e assim sucessivamente.

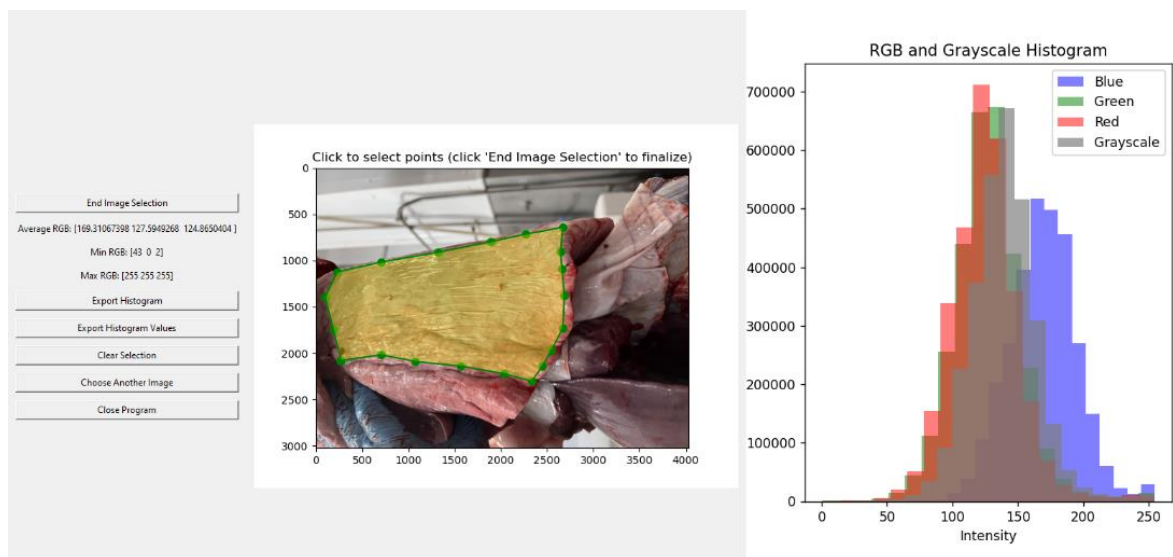


Figura 3 - Histograma gerado pelo programa

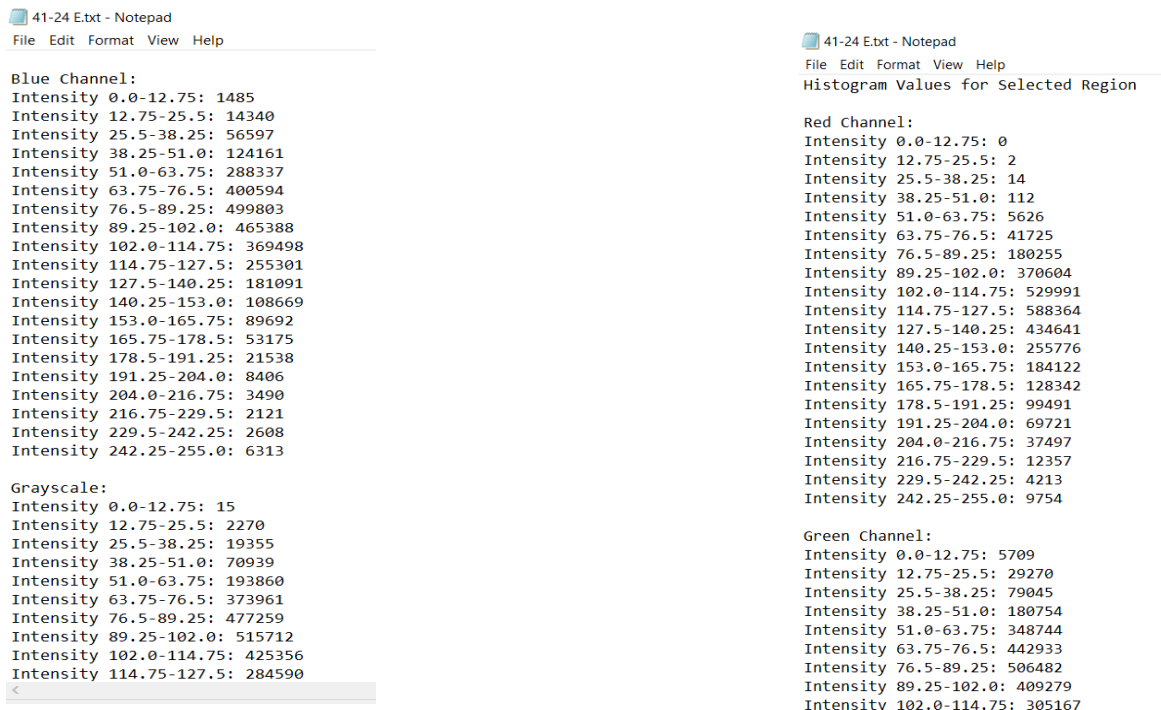


Figura 4 - Documento extraído do programa de leitura de imagens

4.2.2.2 Análise de dados CVS

O programa utilizado exportava os dados em formato de texto (.txt) e apresentava o respetivo histograma de cor, contendo a distribuição da intensidade de pixéis para cada canal de cor (vermelho, verde, azul) e para a imagem em escala de cinzento. Todos os ficheiros foram importados para o Microsoft Excel, onde foi criada uma base de dados consolidada com a informação de todas as imagens analisadas. Para cada imagem foram analisados picos de cor, isto é, intervalos de intensidade em que a concentração de pixéis é superior ao padrão da imagem. O pico de cor foi definido da seguinte forma:

- Para cada imagem foi calculado um valor de desvio padrão.
- A partir do desvio padrão, foi calculado um valor de z-score para cada intervalo de intensidade.
- Um pico de cor foi considerado relevante quando $Zscore > 2$ - Pico relevante (PR).

Para os cálculos referidos acima, foi utilizado o Microsoft Excel tendo sido utilizadas as seguintes fórmulas: $DESVPAD(\text{intervalo})$ para cálculo do desvio padrão da imagem e $=(\text{Valor} - \text{MÉDIA}(\text{intervalo})) / \text{DESVPAD}(\text{intervalo})$ para o cálculo do Zscore de cada bin.

A análise foi realizada individualmente para cada imagem e para cada canal de cor, incluindo a escala de cinzento. Na figura 5 é possível observar um exemplo da análise

realizada para um canal de uma imagem. Os PR's estão identificados a vermelho, de acordo com o seu valor de zscore>2.

Os picos de cor classificados como relevantes de acordo com o critério já mencionado foram utilizados para um cálculo de proporção de pixéis de acordo com a seguinte fórmula:

$$Proporção = \frac{N^{\circ} \text{ de pixeis nos bins relevantes}}{N^{\circ} \text{ total de pixeis do canal}}$$

Esta variável (proporção) tem como objetivo criar uma distinção numérica entre os picos relevantes identificados anteriormente.

Uma vez definidos os picos de imagem relevantes ao estudo e respetivas proporções, foram compilados os dados relevantes numa folha resumo contendo para cada imagem: o número total de pixéis, o número de pixéis associados ao(s) pico(s) relevante(s) e a respetiva proporção, o número de PR's por animal. Na figura 6 é possível observar um excerto da figura resumo onde se faz corresponder o cálculo de cada proporção a uma imagem.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|----|---------------|---------|------------|----------|---|---|---|---|-------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Intensity Bin | Channel | Pixel Coun | Z-Score | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0.0-12.75 | Red | 0 | -0,56332 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 12.75-25.5 | Red | 0 | -0,56332 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 25.5-38.25 | Red | 0 | -0,56332 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 38.25-51.0 | Red | 1 | -0,56331 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 51.0-63.75 | Red | 130 | -0,56181 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 63.75-76.5 | Red | 4526 | -0,51055 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 76.5-89.25 | Red | 70134 | 0,254472 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 89.25-102 | Red | 263142 | 2,50503 | | | | | DESVIO PADRÃO RED | 87987,959 | | | | | | | | |
| 10 | 102.0-114 | Red | 286449 | 2,7768 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 114.75-12 | Red | 162344 | 1,329681 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 127.5-140 | Red | 95662 | 0,55214 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 140.25-15 | Red | 39717 | -0,1002 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 153.0-165 | Red | 17480 | -0,3595 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 165.75-17 | Red | 8472 | -0,46453 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 178.5-191 | Red | 6092 | -0,49229 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 191.25-20 | Red | 3150 | -0,52659 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 204.0-216 | Red | 1748 | -0,54294 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 216.75-22 | Red | 1243 | -0,54883 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 229.5-242 | Red | 1089 | -0,55062 | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 5 – Exemplo do cálculo de zscore e respetiva identificação de PR's

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|----|-----------|---------|-------------|------------|-------------|---------------|------------|---------------------|--------------|---------------|------------------------|
| 1 | Image | Channel | Total Pixel | Peak Pixel | Proportion | Grupo Imagens | Nº Oficial | Data | Nº Matadouro | Classificação | Nº de Picos Relevantes |
| 2 | Image_001 | Red | 640352 | 379813 | 0,59313159 | 1 | | 2025-03-24 00:00:00 | 41 | 2 | 6 |
| 3 | Image_001 | Green | 640352 | 372717 | 0,582050185 | 1 | | | | 2 | 6 |
| 4 | Image_001 | Blue | 1280704 | 506312 | 0,395338814 | 1 | | | | 2 | 6 |
| 5 | Image_002 | Red | 966209 | 549591 | 0,568811717 | 1 | | | | 2 | 6 |
| 6 | Image_002 | Green | 966209 | 460578 | 0,476685686 | 1 | | | | 2 | 6 |
| 7 | Image_002 | Blue | 1932418 | 766771 | 0,396793551 | 1 | | | | 2 | 6 |
| 8 | Image_003 | Red | 1103810 | 639279 | 0,579156739 | 2 | | 2025-03-24 00:00:00 | 42 | 0 | 6 |
| 9 | Image_003 | Green | 1103810 | 558582 | 0,506049048 | 2 | | | | 0 | 6 |
| 10 | Image_003 | Blue | 2207620 | 1184162 | 0,536397568 | 2 | | | | 0 | 6 |
| 11 | Image_004 | Red | 876415 | 449675 | 0,513084555 | 2 | | | | 0 | 6 |
| 12 | Image_004 | Green | 876415 | 216618 | 0,24716373 | 2 | | | | 0 | 6 |
| 13 | Image_004 | Blue | 1752830 | 812503 | 0,463537822 | 2 | | | | 0 | 6 |
| 14 | Image_005 | Red | 1779818 | 996567 | 0,559926352 | 3 | | 2025-03-24 00:00:00 | 43 | 1 | 6 |
| 15 | Image_005 | Green | 1779818 | 546124 | 0,30684261 | 3 | | | | 1 | 6 |
| 16 | Image_005 | Blue | 3559636 | 1985301 | 0,557725846 | 3 | | | | 1 | 6 |
| 17 | Image_006 | Red | 1585531 | 940681 | 0,593290828 | 3 | | | | 1 | 6 |
| 18 | Image_006 | Green | 1585531 | 460537 | 0,290462312 | 3 | | | | 1 | 6 |
| 19 | Image_006 | Blue | 3171062 | 1741040 | 0,549040038 | 3 | | | | 1 | 6 |

Figura 6 – Excerto da folha resumo com a variável proporção visível

4.2.2.3 Análise estatística

A análise dos dados extraídos dos canais de cor foi realizada separadamente da análise da escala de cinzentos (*grayscale*). Os dados referentes às variáveis proporção e número de PR's resultam da junção dos dados extraídos dos três canais de cor, a menos que seja referido que se estão a tratar dados da escala de cinzentos ou de um canal individual.

4.2.2.3.1 Relação Classificação-Proporção

A análise estatística das diferentes variáveis foi realizada através do software IBM SPSS Statistics®.

Começaram por ser relacionadas as variáveis classificação e proporção. Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade das variáveis. Sendo estas variáveis numéricas, uma de carácter ordinal e outra de carácter quantitativo, e nenhuma obedecer a uma distribuição normal, o primeiro teste estatístico aplicado foi a correlação de Spearman. Aplicou-se também o teste de Kruskal-Wallis para avaliar diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos de classificação de lesão (0, 1, 2 e 3) relativa à variável proporção. O teste de Dunn's foi também realizado para se saber em detalhe que grupos apresentavam diferenças entre si.

4.2.2.3.2 Relação Número de PRs-Classificação

Visto que o número e extensão das lesões fez parte do critério de classificação lesional, relacionaram-se as variáveis número de PRs e classificação para determinar a capacidade do sistema de identificar múltiplos focos de lesão num só animal. Não obedecendo nenhuma das variáveis a uma distribuição normal, foram também utilizados os testes de Spearman e Kruskal-Wallis.

4.2.2.3.3 Relação Proporção para cada canal individual-Classificação

Como intuito de perceber se existia um canal de cor em que a identificação de lesões é mais exata relativamente aos restantes, foram realizados testes de Kruskal-Wallis entre as proporções obtidas para cada canal e a variável classificação.

4.2.2.3.4 Relação dados extraídos dos CV's – Dados relativos à vida do animal

Apesar da recolha do número oficial ter sido realizada a cada visita, a utilização dos dados de cada animal revelou-se uma impossibilidade por questões que incompatibilizaram o cruzamento de dados entre o matadouro e a exploração.

4.2.2.3.5 Análise dos valores *Grayscale*

Como foi anteriormente referido, os valores de *grayscale* resultam de uma conversão dos valores dos canais *red*, *green* e *blue* com o intuito de simplificar os dados. Assim sendo, a sua análise foi realizada separadamente.

Utilizou-se o mesmo critério para identificar PR's e a mesma fórmula para calcular as proporções em cada PR. Foram realizados testes de Spearman e de Kruskal-Wallis para comparar as variáveis proporção e classificação.

No que respeita à variável número de picos, a mesma não foi considerada na análise das imagens em escala de cinzento, uma vez que esta corresponde a uma conversão baseada num somatório ponderado dos canais vermelho, verde e azul. A inclusão desta variável na análise do *grayscale* acarretaria um elevado risco de duplicação de informação já contabilizada nos canais individuais, o que poderia comprometer a fiabilidade e validade dos resultados estatísticos.

5 Resultados

5.1 Variável proporção

5.1.1 Caracterização da amostra

O critério aplicado para definir PRs resultou na identificação de 254 picos em 164 imagens. Para cada um deles, foi calculada a variável proporção, correspondente à proporção de cor no intervalo identificado, e atribuída uma classificação visual segundo a gravidade da lesão pulmonar observada, numa escala de 0 a 3. A distribuição dos PRs pelas diferentes classificações foi a seguinte: 179 (70,5%) foram associados a pulmões sem lesão (classificação 0), 49 (19,3%) a lesões ligeiras (classificação 1), 19 (7,5%) a lesões moderadas (classificação 2) e 7 (2,8%) a lesões graves (classificação 3). Os valores médios da variável proporção aumentaram da classificação 0 para a 2, sendo respetivamente de 116,64, 133,33 e 215,16, mas registaram uma descida para 126,43 na classificação 3 (tabela 1). O gráfico 1, permite ter uma perceção visual destas distribuições. A normalidade da variável proporção foi avaliada através dos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Shapiro-Wilk. Ambos os testes

indicaram uma distribuição significativamente diferente da normal (K-S: $p < 0,001$; Shapiro-Wilk: $p < 0,001$) (tabela 2). Assim, foram utilizados testes não paramétricos para a análise inferencial.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas da variável Proporção

| Estatística | Valor |
|--------------------------|--------|
| Média | 0,3163 |
| IC 95% (limite inferior) | 0,2981 |
| IC 95% (limite superior) | 0,3346 |
| Mediana | 0,3148 |
| Desvio padrão | 0,1478 |
| Variância | 0,022 |
| Mínimo | 0,0829 |
| Máximo | 0,8349 |
| Assimetria | 0,825 |
| Curtose | 0,401 |
| N | 254 |



Gráfico 1- Distribuição da variável proporção em função da classificação de lesões

Tabela 2 – Testes de normalidade para a variável Proporção

| Teste | Estatística | Sig. |
|--------------------|-------------|---------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,152 | < 0,001 |
| Shapiro-Wilk | 0,911 | < 0,001 |

5.1.2 Correlação de Spearman

A correlação de Spearman (tabela 3) entre Classificação e Proporção revelou uma associação positiva e significativa ($p = 0,254$; $p < 0,001$), indicando que, à medida que a classificação visual aumenta, tende a verificar-se um aumento na proporção da área afetada.

Tabela 3 Relação Proporção-Classificação (Correlação de Spearman)

| | Proporção | Classificação |
|---------------------------|-----------|---------------|
| Coeficiente de Correlação | 1,000 | ,254** |
| Sig. (2 extremidades) | . | <,001 |
| N | 254 | 254 |
| Coeficiente de Correlação | ,254** | 1,000 |
| Sig. (2 extremidades) | <,001 | . |

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

5.1.3 Teste de Kruskal-Wallis

Para avaliar se existiam diferenças significativas na proporção de lesão entre os diferentes grupos de classificação visual (0 a 3), foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (tabela 4). O resultado revelou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($H = 31,268$; $gl = 3$; $p < 0,001$).

A análise dos valores médios revelou uma tendência crescente da proporção com o aumento da classificação, à exceção do grupo 3, cujo posto médio foi inferior ao do grupo 2.

Classificação 0 (n=179): posto médio = 116,64

Classificação 1 (n=49): posto médio = 133,33

Classificação 2 (n=19): posto médio = 215,16

Classificação 3 (n=7): posto médio = 126,4

O gráfico 2 permite obter ter uma percepção visual dos dados apresentados.

Tabela 4. Relação entre classificação e proporção de píxeis para bins relevantes (Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|--|---|---------|---------------------------|
| A distribuição de Proporção é igual nas categorias de classificação. | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | < 0,001 | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

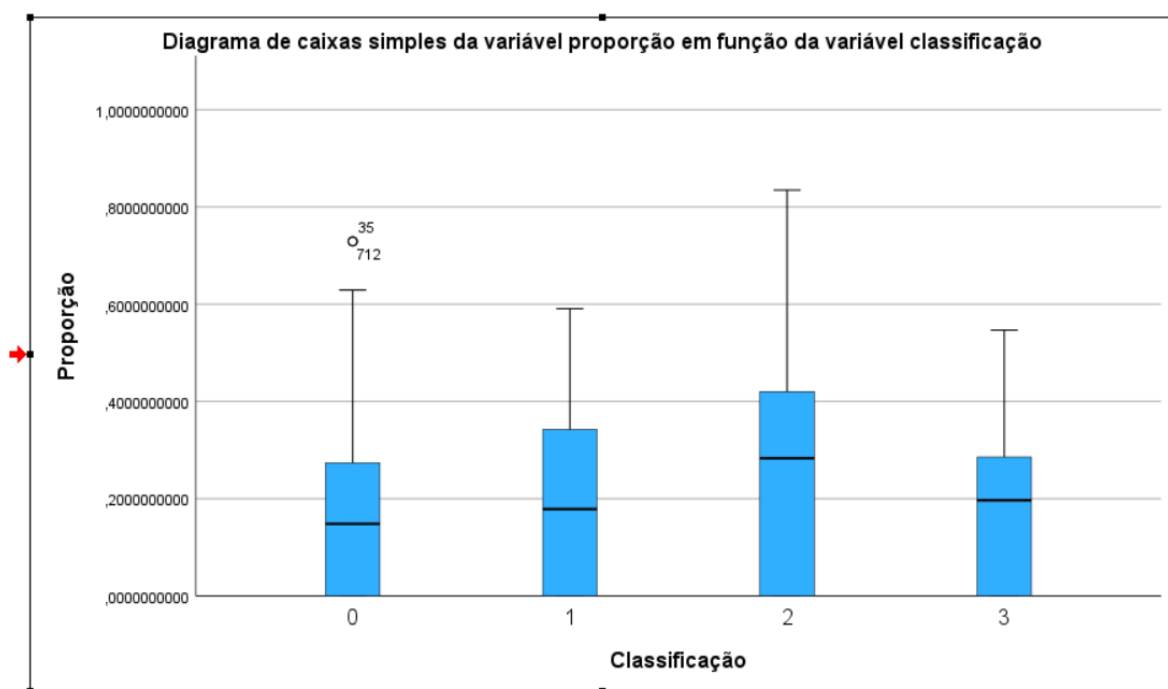


Gráfico 2- Diagrama de caixas da distribuição dos valores proporção para cada nível de classificação

5.1.3.1 Teste de Dunn's

O teste de Dunn's (tabela 5) permitiu demonstrar que os grupos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas foram:

Grupo 0 vs 1 ($p_{\text{Bonferroni}} = 0,006$; $p_{\text{Holm}} = 0,006$)

Grupo 0 vs 2 ($p_{\text{Bonferroni}} = 0,006$; $p_{\text{Holm}} = 0,006$)

As restantes comparações (0 vs 3; 1 vs 2; 1 vs 3; 2 vs 3) não apresentaram diferenças significativas após correção ($p > 0,05$).

Tabela 5 - Comparações múltiplas de Dunn para a variável classificação

| Comparações | z | Wi | Wj | rb | p | pbonf | pholm |
|-------------|--------|---------|---------|-------|--------|-------|-------|
| 0 - 1 | -3.306 | 551.015 | 635.542 | 0.151 | < .001 | 0.006 | 0.006 |
| 0 - 2 | -3.288 | 551.015 | 666.269 | 0.190 | 0.001 | 0.006 | 0.006 |
| 0 - 3 | -0.991 | 551.015 | 611.518 | 0.113 | 0.321 | 1.000 | 1.000 |
| 1 - 2 | -0.758 | 635.542 | 666.269 | 0.092 | 0.448 | 1.000 | 1.000 |
| 1 - 3 | 0.373 | 635.542 | 611.518 | 0.054 | 0.709 | 1.000 | 1.000 |
| 2 - 3 | 0.798 | 666.269 | 611.518 | 0.142 | 0.425 | 1.000 | 1.000 |

5.1.4 Conclusões Proporção-Classificação

Os resultados demonstram que existe uma relação estatisticamente significativa entre a classificação visual das lesões pulmonares e a proporções de pixels calculadas, tanto em termos de diferença entre grupos como na correlação entre variáveis. O aumento da classificação visual está associado a uma maior proporção de lesão, especialmente evidente entre os grupos 0 e 2 e entre os grupos 1 e 2. Estes dados validam, parcialmente, a utilidade

do método de classificação visual como indicador da extensão da lesão pulmonar em bovinos. O facto de não terem sido observadas diferenças significativas entre os grupos 0 e 3, nem entre os grupos com classificações superiores (1, 2 e 3), sugere que o sistema baseado na variável proporção é eficaz na distinção entre pulmões sem lesões e com lesões ligeiras a moderadas, mas não apresenta sensibilidade suficiente para discriminar entre graus mais elevados de lesão pulmonar, limitando a sua aplicabilidade como ferramenta de avaliação da gravidade.

5.2 Variável Número de PRs

5.2.1 Caracterização da amostra

Foram considerados 80 casos válidos, tendo-se registado 2 casos omissos. Estes correspondem a pares de pulmões em que não foi detetado nenhum pico relevante, não tendo, por isso, sido atribuída qualquer contagem. O número de picos relevantes detetados por imagem apresentou uma média de 4,83 ($\pm 1,367$), com valores compreendidos entre 1 e 6. A mediana foi de 5,00. A assimetria foi ligeiramente negativa ($-0,835$) (tabela 6). A dispersão desta variável em função da classificação pode ser observada no gráfico 3. A normalidade da variável Número de PR's foi avaliada através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, ambos indicando uma distribuição significativamente diferente da normal ($p < 0,001$). Assim, foi aplicada estatística não paramétrica (tabela 7).

Tabela 6 - Estatísticas descritivas da variável Número de Picos Relevantes

| Estatística | Valor |
|--------------------|--------------|
| Média | 4,83 |
| Mediana | 5,00 |
| Desvio padrão | 1,367 |
| Variância | 1,869 |
| Mínimo | 1 |
| Máximo | 6 |
| Assimetria | $-0,835$ |
| Curtose | $-0,455$ |
| N | 80 |
| Omissos | 2 |

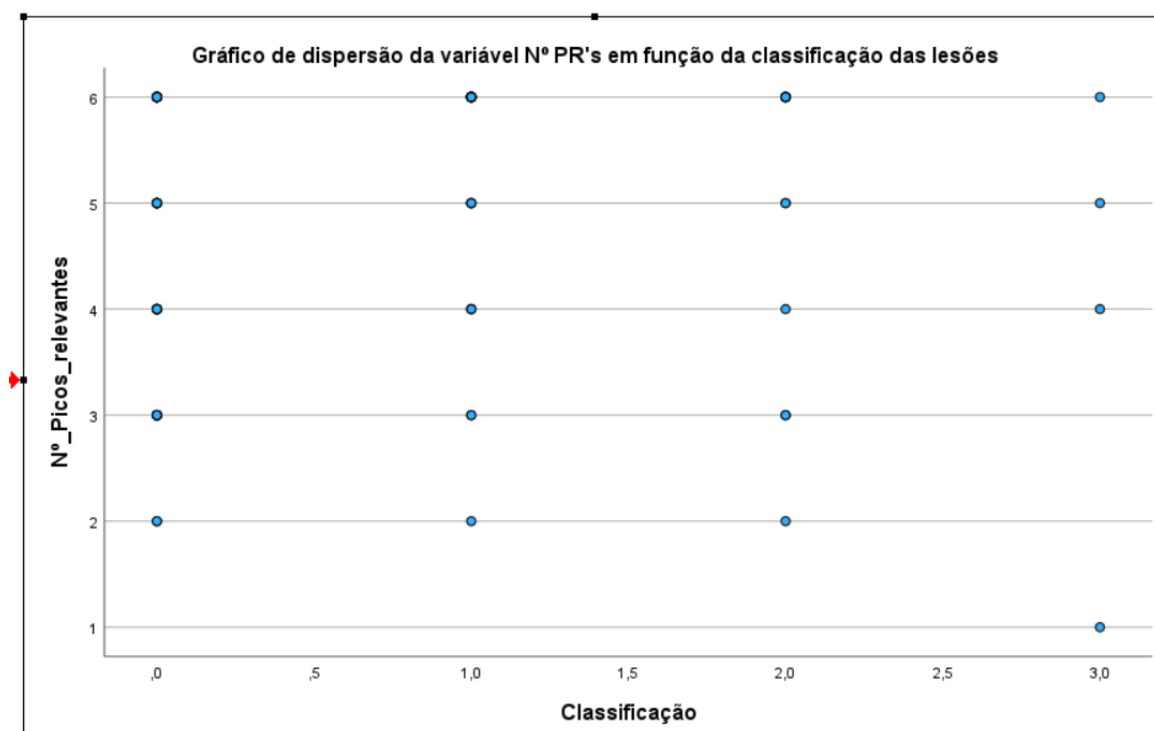


Gráfico 3 - Distribuição da variável Número de PR's em função da classificação de lesões

Tabela 7 - Testes de normalidade para a variável Número de Picos Relevantes

| Teste | Estatística | Sig. |
|--------------------|-------------|---------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,187 | < 0,001 |
| Shapiro-Wilk | 0,891 | < 0,001 |

5.2.2 Correlação de Spearman

Foi realizada uma correlação de Spearman (tabela 8) entre o número de picos relevantes e a classificação visual. O coeficiente de correlação foi baixo e não significativo ($\rho = 0,135$; $p = 0,234$), sugerindo a inexistência de uma associação estatisticamente relevante entre estas variáveis.

Tabela 8 - Correlação de Spearman entre Classificação e Número de Picos Relevantes

| Coeficiente ρ | Sig. (bilateral) | N |
|--------------------|------------------|----|
| 0,135 | 0,234 | 80 |

5.2.3 Teste de Kruskal-Wallis

Apesar de se ter procedido à aplicação do teste de Kruskal-Wallis para verificar diferenças no número de picos entre os diferentes grupos de classificação, os resultados não revelaram diferenças estatisticamente significativas ($H = 5,716$; $p = 0,126$).

Tabela 9 - Relação entre classificação e Número de PR's (Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|--|---|---------|------------------------|
| A distribuição de Nº_Picos_relevantes é igual nas categorias de Classificação. | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | < 0,126 | Reter a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

5.2.4 Conclusões Número de PRs

Os resultados não demonstram qualquer relação significativa entre a classificação visual das lesões e o número de picos relevantes identificados nas imagens. A ausência de correlação significativa e de diferenças entre grupos sugere que o número de picos isoladamente não é um bom indicador da gravidade das lesões pulmonares.

5.3 Variável Proporção de um canal individual

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis estão representados nas tabelas 10, 11 e 12. Tendo sido cada canal comparado com a variável classificação, a tabela 10 corresponde à comparação com o canal *red*, a tabela 11 com o canal *green* e a tabela 12 com o canal *blue*. O canal *red* foi o canal que apresentou um valor de p mais baixo ($p < 0.01$). O gráfico 4 apresenta um diagrama de caixa agrupado, comparando a proporção de píxeis nos canais *red*, *green* e *blue* para cada classe de lesão (0 a 3).

Tabela 10 - Relação entre classificação e proporção do canal *red* de píxeis para bins relevantes (Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|--|---|---------|---------------------------|
| A distribuição de Proporção no canal <i>red</i> é igual nas categorias de Classificação. | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | < 0,001 | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

b. $H=16,739$

Tabela 11 - Relação entre classificação e proporção do canal *green* de píxeis para bins relevantes (Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|--|---|-------|---------------------------|
| A distribuição de Proporção no canal <i>red</i> é igual nas categorias de Classificação. | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | 0,013 | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

b. $H=10,814$

Tabela 12 - Relação entre classificação e proporção do canal *blue* de píxeis para bins relevantes (Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|--|---|-------|---------------------------|
| A distribuição de Proporção no canal <i>red</i> é igual nas categorias de Classificação. | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | 0,012 | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

b. $H=10,897$

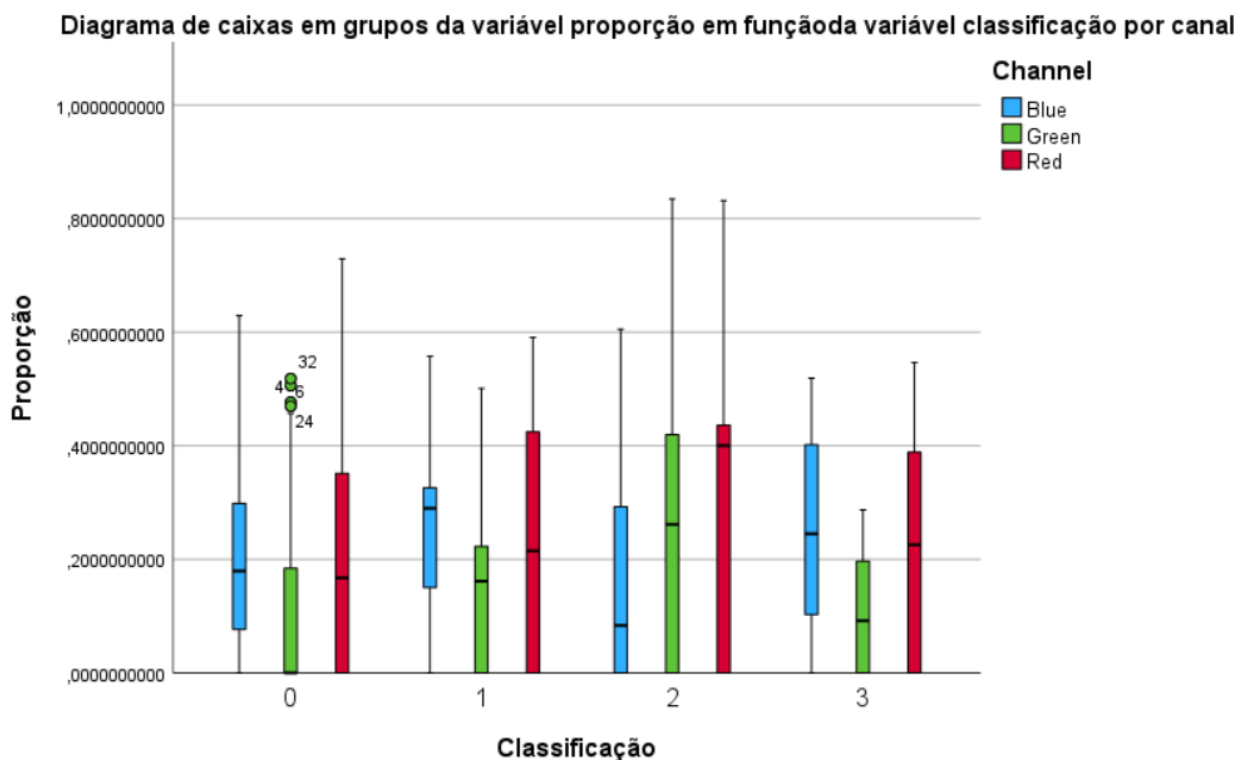


Gráfico 4 - Diagrama de caixas em grupos. Comportamento da variável proporção nos diferentes canais.

5.3.1 Conclusões Proporção de um canal individual-Classificação

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis permitem aferir que existe uma diferença significativa entre a variável proporção e os vários grupos de classificação em todos os canais. O canal que apresentou maior significância estatística foi o canal *red*, o que permite concluir que neste canal existe uma maior exatidão na deteção de lesões pulmonares.

5.4 Análise da variável proporção na escala *Grayscale*

Foram identificados 117 picos relevantes com base na intensidade luminosa em escala de cinzento (*grayscale*). A variável apresentou uma média de 0,2081, com um desvio padrão de 0,1738 e valores compreendidos entre 0,0001 e 0,6372. A distribuição dos dados revelou uma assimetria de valor 0,433 e uma curtose inferior a zero (-0,739), sugerindo uma distribuição moderadamente achatada em relação à normal. Não foram identificados valores omissos, tendo sido consideradas 117 observações válidas (tabela 13). O gráfico 5 permite observar a dispersão dos valores da proporção de píxeis em função da classificação visual atribuída.

A distribuição da variável proporção foi avaliada quanto à normalidade através dos testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov. Os resultados revelaram uma distribuição significativamente diferente da normal (Shapiro-Wilk: $p < 0,001$; Kolmogorov-Smirnov: $p < 0,001$; $n = 117$), justificando assim a utilização de testes estatísticos não paramétricos nas análises subsequentes.

Tabela 13 - Estatísticas descritivas da variável Proporção (Grayscale)

| Estatística | Valor |
|--------------------------|-------|
| Média | ,2081 |
| IC 95% (limite inferior) | ,1812 |
| IC 95% (limite superior) | ,2349 |
| Mediana | ,1824 |
| Desvio padrão | ,1738 |
| Variância | 0,030 |
| Mínimo | 0,001 |
| Máximo | ,6372 |
| Assimetria | ,433 |
| Curtose | -,739 |
| N | 117 |

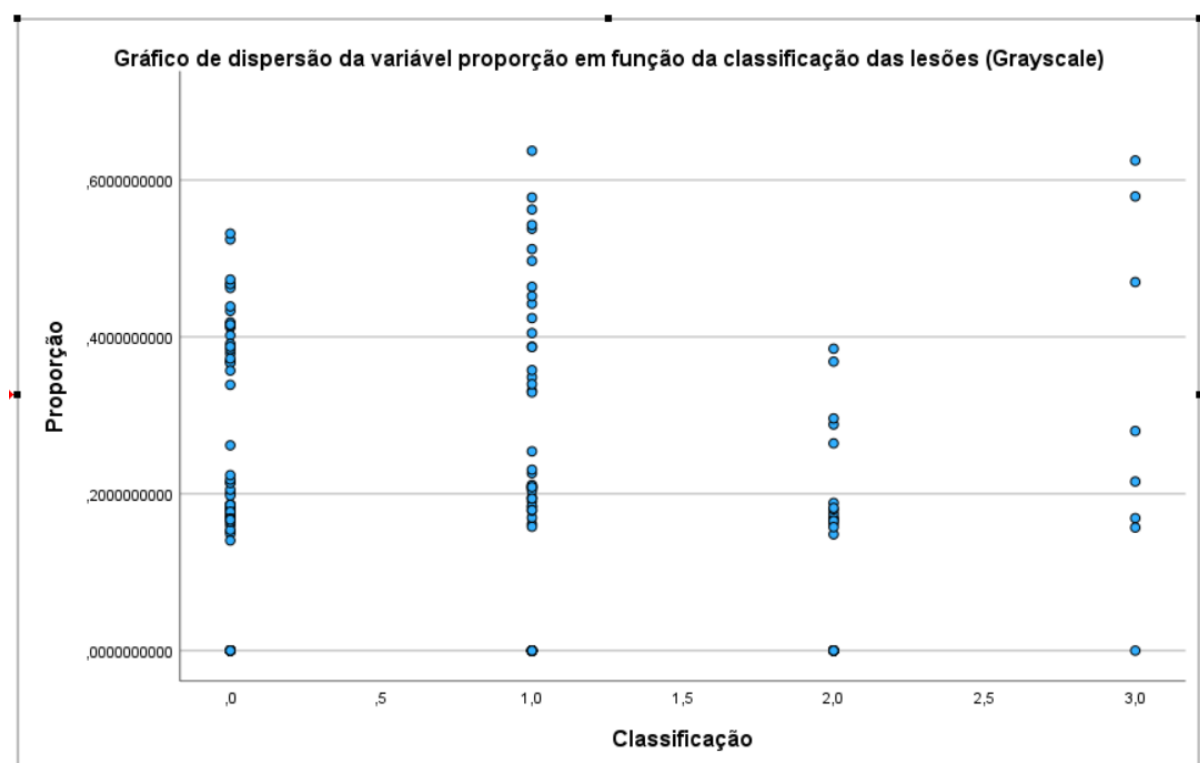


Gráfico 5 - Distribuição da variável proporção em função da classificação de lesões (grayscale)

5.4.1 Correlação de Spearman

Na tabela 14, é possível observar os resultados do teste de Spearman. Os resultados revelaram uma correlação praticamente nula e estatisticamente não significativa entre as variáveis ($\rho = -0,004$; $p = 0,968$; $n = 117$), indicando que a intensidade luminosa geral não se relaciona de forma consistente com o grau de lesão atribuído visualmente.

Tabela 14 - Correlação de Spearman entre Classificação e Proporção (Grayscale)

| Coefficiente ρ | Sig. (bilateral) | N |
|---------------------|------------------|-----|
| -0,004 | 0,968 | 117 |

5.4.2 Teste de Kruskal-Wallis

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis podem ser consultados na tabela 15. Os resultados indicaram uma ausência total de correlação monotônica entre as variáveis ($\rho = -0,004$; $p = 0,968$; $n = 117$). Adicionalmente, o teste de Kruskal-Wallis não revelou diferenças estatisticamente significativas na distribuição da proporção entre os diferentes níveis de classificação ($p = 1,000$), levando à manutenção da hipótese nula. Estes resultados sugerem que a intensidade luminosa global das imagens, tal como quantificada pela proporção de pixels em picos relevantes em *grayscale*, não permite discriminar o grau de lesão atribuído por avaliação visual.

Tabela 15 - Relação entre Classificação e Proporção (*Grayscale* - Kruskal-Wallis)

| Hipótese nula | Teste | Sig. | Decisão |
|---|---|-------|------------------------|
| A distribuição da variável "Proporção" é igual entre os grupos de "Classificação" | Amostras Independentes de Teste de Kruskal-Wallis | 1,000 | Reter a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

5.4.3 Conclusões Proporção-Classificação (*grayscale*)

Os resultados do teste de Spearman e Kruskal-Wallis permitem concluir que a escala de cor *grayscale* não se demonstrou um bom indicador de lesões pulmonares. Apesar de se tratar de uma escala criada para a simplificação de dados que poderia ser útil ao reduzir a complexidade de futuras análises, estes resultados demonstram que no caso das lesões pulmonares, esta simplificação torna os dados inutilizáveis.

6 Discussão

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que a variável proporção de pixels com intensidade elevada apresenta uma correlação estatisticamente significativa com a classificação visual atribuída às lesões pulmonares. De forma consistente, verificou-se que pulmões com lesões ligeiras a moderadas apresentaram uma maior proporção de pixels classificados como PRs, quando comparados com pulmões considerados sem lesão. Esta diferença foi corroborada pelos testes de Spearman e Kruskal-Wallis, bem como pelas comparações múltiplas de Dunn, que revelaram diferenças significativas entre os grupos 0 vs 1 e 0 vs 2. Estes resultados validam, ainda que parcialmente, o potencial do sistema de análise de imagem como ferramenta auxiliar na detecção de lesão pulmonar em bovinos.

No entanto, o sistema não demonstrou sensibilidade suficiente para distinguir entre diferentes graus de gravidade das lesões. As comparações entre grupos superiores (1 vs 2, 2 vs 3, etc.) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, o que limita a aplicabilidade do sistema na avaliação da gravidade lesional. De forma semelhante, a variável número de PRs não revelou correlação significativa com a classificação visual, sugerindo que

o simples número de picos não é um bom indicador da extensão ou gravidade da lesão. O facto de a análise fotográfica ter sido limitada aos lobos caudais, é muito provavelmente um fator que limita o critério número de PR's como critério relevante para analisar a severidade do quadro lesional. O número reduzido de casos classificados como lesão grave (classe 3) limitou também a capacidade estatística de comparar os grupos mais extremos.

Em relação à limitação referida acima relativa à escolha dos lobos pulmonares, são necessários mais estudos que avaliem a prevalência de lesões em cada lobo pulmonar. Num estudo de avaliação de lesões pneumónicas em 684 animais, por exemplo, foi possível concluir que a porção cranial do lobo cranial direito foi a mais afetada (Florindo 2021). Existe a hipótese de haver um lobo que é estatisticamente mais representativo da globalidade do pulmão no que toca a análise fotográfica por CVS's.

Trabalhos mais recentes, como o de Bortoluzzi et al. (2023), concluíram que a aplicação de sistemas de visão por computador para análise de lesões pulmonares, apresentam resultados promissores, mas ainda condicionados por limitações tecnológicas e metodológicas semelhantes às aqui descritas. Este tipo de tecnologia tem um grande potencial para ser usado em ensaios clínicos, por exemplo, com antibióticos, anti-inflamatórios ou vacinas, permitindo quantificar objetivamente a resposta pulmonar aos diferentes tratamentos. Da mesma forma, poderia ser aplicada em estudos comparativos sobre diferentes sistemas de instalação, ventilação e manejo, contribuindo com dados adicionais relevantes para a tomada de decisões.

Para além disso, a captura de imagens representa uma ferramenta acessível e economicamente viável. Na área da deteção de claudicações bovinas, já ficou demonstrado que equipamentos de baixo custo podem ser úteis para a criação de uma base de dados robusta e posterior deteção das mesmas (Wright 2023). A digitalização e padronização dessas imagens permite a criação de bases de dados que, no futuro, poderão ser utilizadas para treinar modelos de aprendizagem automática (machine learning). A crescente acessibilidade a ferramentas de código aberto e bibliotecas de processamento de imagem como OpenCV e TensorFlow reforça a viabilidade da implementação de sistemas automatizados em contexto de produção animal e agrícola, mesmo em explorações com recursos limitados (Tóth et al. 2019).

A possibilidade de correlacionar lesões pulmonares com indicadores zootécnicos como o ganho médio diário (GMD) constitui uma ferramenta valiosa na avaliação do impacto produtivo das patologias respiratórias. Vários estudos reforçam a existência de uma relação direta entre a presença de lesões pulmonares e a redução do desempenho produtivo dos animais. Thompson et al. (2006) demonstraram que a DRB subclínica resultou numa diminuição de 91 g por dia no GMD, uma perda significativa que frequentemente passa despercebida em contextos de produção intensiva. De forma semelhante, Hill et al. (1994)

mostraram que um aumento de apenas 10% na proporção de pulmão afetado por pneumonia estava associado a uma redução de 31,4 g no GMD e a um prolongamento do tempo até ao abate em 13,2 dias. Estes dados indicam que mesmo lesões moderadas têm um impacto económico mensurável, quer ao nível da eficiência alimentar, quer no retorno financeiro ao produtor.

Griffin (2014) também verificou que bovinos com lesões pulmonares graves apresentavam carcaças 14,3 kg mais leves, reforçando a ideia de que as consequências da DRB se estendem até à qualidade do produto final. Mais recentemente, Fernández et al. (2020) identificaram lesões compatíveis com pneumonia em 17,9% dos bovinos aparentemente saudáveis, concluindo que estas estavam associadas a carcaças de menor peso e rendimento, particularmente em sistemas intensivos. Estes dados evidenciam o potencial das lesões pulmonares como biomarcadores objetivos de perdas subclínicas, permitindo que sejam considerados nos modelos de avaliação económica.

A integração desta informação com os registos de tratamentos realizados durante a vida do animal oferece ainda uma perspetiva mais abrangente da eficácia terapêutica e do manejo sanitário aplicado. Holland et al. (2010) e Schneider et al. (2009) demonstraram que é possível correlacionar o número de tratamentos com a gravidade das lesões observadas *post-mortem*, fornecendo assim um indicador indireto da recorrência ou persistência de surtos de DRB ao longo do ciclo de engorda. Estes dados, quando analisados em conjunto, possibilitam a construção de modelos de custo-benefício robustos, permitindo avaliar, de forma objetiva, o impacto financeiro das medidas profiláticas e corretivas implementadas, incluindo protocolos de vacinação, estratégias de *preconditioning* e decisões terapêuticas.

Deste modo, a recolha sistemática de imagens em matadouro, complementada por análises zootécnicas e sanitárias, não só permite uma monitorização epidemiológica rigorosa, como representa uma oportunidade concreta para otimizar a gestão técnica e económica das explorações.

Importa referir que um dos objetivos do presente trabalho passava precisamente por correlacionar as lesões detetadas com os registos de tratamentos efetuados durante a fase de engorda. Contudo, não foi possível concretizar essa análise devido à impossibilidade de cruzar dados da exploração com o matadouro. Esta limitação, além de comprometer parte dos objetivos iniciais, evidencia a necessidade de melhorar os sistemas de registo e partilha de dados ao longo da cadeia de produção.

Uma das limitações mais relevantes deste estudo prende-se com o funcionamento do sistema de visão por computador utilizado. Embora o programa permita a geração de histogramas e a identificação de picos de cor relevantes, não é possível associar esses picos a uma região anatómica específica da imagem. Deste modo, não se consegue verificar se o pico corresponde efetivamente a uma área de lesão pulmonar ou a um artefacto visual como

sangue residual, sombras ou sobreposição de outros tecidos. Esta impossibilidade de mapear a origem dos picos limita a validação da sua relevância clínica, comprometendo a fiabilidade do sistema e a sua capacidade de distinguir entre "verdadeiros positivos" e "falsos positivos".

Outra questão que merece destaque é a comparação entre os resultados obtidos com as imagens analisadas nos canais RGB e aquelas convertidas para escala de cinzento (*grayscale*). Embora ambas as abordagens tenham sido exploradas com o objetivo de identificar padrões associados à presença de lesões pulmonares, os resultados demonstraram diferenças significativas na sua utilidade analítica. Os canais de cor, em particular o canal vermelho (*red*), revelaram-se mais eficazes na deteção de alterações compatíveis com lesões, apresentando correlações estatisticamente significativas com a classificação visual atribuída aos pulmões. Em contraste, a análise realizada sobre as imagens em *grayscale* demonstrou uma capacidade nula de discriminação. As variáveis extraídas dessa conversão, nomeadamente a proporção de pixels em picos relevantes, não apresentaram qualquer correlação estatisticamente significativa com os graus de lesão, nem diferenças relevantes entre os grupos definidos pela classificação visual. Estes dados sugerem que a conversão para *grayscale*, ao agregar de forma ponderada a informação dos três canais RGB, pode diluir características cromáticas importantes para a deteção de padrões patológicos, tornando-se, neste contexto, uma abordagem metodologicamente menos informativa e pouco adequada para o objetivo em estudo.

Apesar das limitações, os resultados obtidos apontam para o potencial do sistema como ferramenta de triagem automatizada. A implementação futura de algoritmos que permitam mapear graficamente os picos detetados na imagem, ou mesmo a integração de modelos de aprendizagem automática supervisionada, poderá permitir distinguir artefactos de lesões reais com maior precisão. Tal evolução contribuiria para a criação de sistemas mais robustos e clinicamente relevantes, com aplicações tanto em contexto de investigação como na prática de rotina.

Bibliografia

Ackermann MR, Brogden KA. 2000. Response of the ruminant respiratory tract to *Mannheimia* (*Pasteurella*) *haemolytica*. *Microbes Infect.* 2(9):1079–1088. doi:10.1016/S1286-4579(00)01262-4.

Acrissul. 2024 May 24. Inspeção por câmera com IA garante que produção brasileira de carne cumpra exigências internacionais. Acrissul. [accessed 2025 Feb 1]. <https://www.acrissul.com.br/noticias/inspecao-por-camera-com-ia-garante-que-producao-brasileira-de-carne/25905/>.

Bailey EA, Jaeger JR, Schmidt TB, Waggoner JW, Pacheco LA, Thomson DU, Olson KC. 2015. Effects of weaning-period length on growth and health of preconditioned, spring-born beef calves originating from the Great Plains. II. Early weaning. *Prof Anim Sci.* 31(1):30–39. doi:10.15232/pas.2014-01349.

Bailey EA, Jaeger JR, Schmidt TB, Waggoner JW, Pacheco LA, Thomson DU, Olson KC. 2016. Effects of number of viral respiratory disease vaccinations during preconditioning on health, performance, and carcass merit of ranch-direct beef calves during receiving and finishing. *Prof Anim Sci.* 32(3):271–278. doi:10.15232/pas.2015-01461.

Barrett DC. 2000. Cost-effective antimicrobial drug selection for the management and control of respiratory disease in European cattle. *Vet Rec.* 146(19):545–550. doi:10.1136/vr.146.19.545.

Beck P. 2022. Long-term cost of respiratory disease during weaning and backgrounding. Oklahoma State University Extension. [accessed 2025 Apr 3]. <https://extension.okstate.edu/>.

Berman J. 2024. Literature review of the principal diagnostic tests to detect bovine respiratory disease in pre-weaned dairy and veal calves. *Animals.* 14(2):329. doi:10.3390/ani14020329.

Berman J, Francoz D, Abdallah A, Dufour S, Buczinski S. 2022. Development and validation of a clinical respiratory disease scoring system for guiding treatment decisions in veal calves using a Bayesian framework. *J Dairy Sci.* 105(12):9917–9933. doi:10.3168/jds.2021-21695.

Booker CW, Lubbers B V. 2020. Bovine respiratory disease treatment failure. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 36(2):487–496. doi:10.1016/j.cvfa.2020.03.007.

Bortoluzzi E, Schmidt P, Brown R, Jensen M, Mancke M, Larson R, Lancaster P, White B. 2023. Image classification and automated machine learning to classify lung pathologies in deceased feedlot cattle. *Vet Sci.* 10(2):113. doi:10.3390/vetsci10020113.

Ceva Santé Animale. 2024 Nov 12. Ceva officially launches its latest innovation for poultry broiler production - Ceva Genesys. The Poultry Site. [accessed 2025 Apr 10].

<https://www.thepoultrysite.com/articles/ceva-officially-launches-its-latest-innovation-for-poultry-broiler-production-ceva-genesys-2>.

Chai J, Capik SF, Kegley B, Richeson JT, Powell JG, Zhao J. 2022. Bovine respiratory microbiota of feedlot cattle and its association with disease. *Vet Res.* 53(1):4. doi:10.1186/s13567-021-01020-x.

Cusack P, McMeniman N, Lean I. 2003. The medicine and epidemiology of bovine respiratory disease in feedlots. *Aust Vet J.* 81(8):480–487. doi:10.1111/j.1751-0813.2003.tb13367.x.

Deepak, Aly SS, Love WJ, Blanchard PC, Crossley B, Van Eenennaam AL, Lehenbauer TW. 2021. Etiology and risk factors for bovine respiratory disease in pre-weaned calves on California dairies and calf ranches. *Prev Vet Med.* 197:105506. doi:10.1016/j.prevetmed.2021.105506.

Donlon JD, McAloon CG, Mee JF. 2024. Performance of various interpretations of clinical scoring systems for diagnosis of respiratory disease in dairy calves in a temperate climate using Bayesian latent class analysis. *J Dairy Sci.* 107(9):7138–7152. doi:10.3168/jds.2023-24321.

Dubrovsky SA, Van Eenennaam AL, Karle BM, Rossitto PV, Lehenbauer TW, Aly SS. 2019. Bovine respiratory disease (BRD) cause-specific and overall mortality in preweaned calves on California dairies: The BRD 10K study. *J Dairy Sci.* 102(8):7320–7328. doi:10.3168/jds.2018-15463.

Edwards TA. 2010. Control methods for bovine respiratory disease for feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 26(2):273–284. doi:10.1016/j.cvfa.2010.03.005.

European Medicines Agency. 2020. Categorisation of antibiotics for use in animals for prudent and responsible use. [accessed 2025 Apr 6]. https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/infographic-categorisation-antibiotics-use-animals-prudent-and-responsible-use_en.pdf.

van der Fels-Klerx HJ, Sørensen JT, Jalvingh AW, Huirne RBM. 2001. An economic model to calculate farm-specific losses due to bovine respiratory disease in dairy heifers. *Prev Vet Med.* 51(1–2):75–94. doi:10.1016/S0167-5877(01)00208-2.

Fernández M, Ferreras MC, Giráldez FJ, Benavides J, Pérez V. 2020. Production significance of bovine respiratory disease lesions in slaughtered beef cattle. *Animals.* 10(10):1770. doi:10.3390/ani10101770.

Fiore E, Lisuzzo A, Beltrame A, Contiero B, Giancesella M, Schiavon E, Tessari R, Morgante M, Mazzotta E. 2022. Lung ultrasonography and clinical follow-up evaluations in fattening bulls affected by bovine respiratory disease (BRD) during the restocking period and after tulathromycin and ketoprofen treatment. *Animals.* 12(8):994. doi:10.3390/ani12080994.

Florindo TAR. 2021. Avaliação de pneumonias de bovinos abatidos num matadouro da região oeste do continente português. Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa.<http://hdl.handle.net/10400.5/21247>

Garcia-Morante B, Segalés J, Fraile L, Pérez de Rozas A, Maiti H, Coll T, Sibila M. 2016. Assessment of *Mycoplasma hyopneumoniae*-induced Pneumonia using Different Lung Lesion Scoring Systems: a Comparative Review. *J Comp Pathol.* 154(2–3):125–134. doi:10.1016/j.jcpa.2015.11.003.

Gorden PJ, Plummer P. 2010. Control, management, and prevention of bovine respiratory disease in dairy calves and cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 26(2):243–259. doi:10.1016/j.cvfa.2010.03.004.

Griffin D. 1997. Economic impact associated with respiratory disease in beef cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 13(3):367–377. doi:10.1016/S0749-0720(15)30302-9.

Griffin D. 2014. The monster we don't see: subclinical BRD in beef cattle. *Anim Health Res Rev.* 15(2):138–141. doi:10.1017/S1466252314000255.

Griffin D, Chengappa MM, Kuszak J, McVey DS. 2010. Bacterial pathogens of the bovine respiratory disease complex. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 26(2):381–394. doi:10.1016/j.cvfa.2010.04.004.

Hikrobotics. 2025 Feb 18. Hikrobot & Soma Solution: Drive Automation in Brazil with Machine Vision. Hikrobotics. [accessed 2025 Mar 10]. <https://www.hikrobotics.com/en/news/newsdetail/?id=67>.

Hill MA, Scheidt AB, Teclaw RF, Clark LK, Knox KE, Jordan M. 1994. Relationship between the indicators of performance and the weight of pneumonic lesions from pigs at slaughter. *Res Vet Sci.* 56(2):240–244. doi:10.1016/0034-5288(94)90110-4.

Hilton WM. 2015. Management of preconditioned calves and impacts of preconditioning. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 31(2):197–207. doi:10.1016/j.cvfa.2015.03.002.

Holland BP, Burciaga-Robles LO, VanOverbeke DL, Shook JN, Step DL, Richards CJ, Krehbiel CR. 2010. Effect of bovine respiratory disease during preconditioning on subsequent feedlot performance, carcass characteristics, and beef attributes. *J Anim Sci.* 88(7):2486–2499. doi:10.2527/jas.2009-2428.

International Telecommunication Union. 2011. Recommendation ITU-R BT.601-7 Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios. [accessed 2025 Apr 2]. <https://www.itu.int/pub/R-REC/en>.

Jourquin S, Debruyne F, Chantillon L, Lowie T, Boone R, Bokma J, Pardon B. 2025. Noninferiority trial in veal calves on the efficacy of oxytetracycline and florfenicol treatment for

pneumonia guided by quick thoracic ultrasound. *J Dairy Sci.* 108(2):1896–1913. doi:10.3168/jds.2024-25172.

Kamel MS, Davidson JL, Verma MS. 2024. Strategies for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis and prognosis: A comprehensive overview. *Animals.* 14(4). doi:10.3390/ani14040627.

De Koster J, Tena J, Stegemann MR. 2022. Treatment of bovine respiratory disease with a single administration of tulathromycin and ketoprofen. *Vet Rec.* 190(4). doi:10.1002/vetr.834.

Leruste H, Brscic M, Heutinck LFM, Visser EK, Wolthuis-Fillerup M, Bokkers EAM, Stockhofe-Zurwieden N, Cozzi G, Gottardo F, Lensink BJ, et al. 2012. The relationship between clinical signs of respiratory system disorders and lung lesions at slaughter in veal calves. *Prev Vet Med.* 105(1–2):93–100. doi:10.1016/j.prevetmed.2012.01.015.

Li, G., Huang, Y., Chen, Z., Chesser, G. D. Jr., Purswell, J. L., Linhoss, J., & Zhao, Y. (2021). Practices and Applications of Convolutional Neural Network-Based Computer Vision Systems in Animal Farming: A Review. *Sensors,* 21(4), 1492. <https://doi.org/10.3390/s21041492>

Love WJ, Lehenbauer TW, Kass PH, Van Eenennaam AL, Aly SS. 2014. Development of a novel clinical scoring system for on-farm diagnosis of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves. *PeerJ.* 2:e238. doi:10.7717/peerj.238.

Masebo NT, Marliani G, Del Re FS, Abram L, Cavallini D, Di Pietro M, Beltrame A, Schiavon E, Bolcato M, Hernandez Bermudez J, et al. 2024. Evaluation of antimicrobial and non-steroidal anti-inflammatory treatments for BRD on health and welfare in fattening bulls: a cross-sectional study. *Veterinary Quarterly.* 44(1):1–11. doi:10.1080/01652176.2024.2347928.

McGuirk SM, Peek SF. 2014. Timely diagnosis of dairy calf respiratory disease using a standardized scoring system. *Anim Health Res Rev.* 15(2):145–147. doi:10.1017/S1466252314000267.

Meriardi G, Dottori M, Bonilauri P, Luppi A, Gozio S, Pozzi P, Spaggiari B, Martelli P. 2012. Survey of pleuritis and pulmonary lesions in pigs at abattoir with a focus on the extent of the condition and herd risk factors. *Vet J.* 193(1):234–239. doi:10.1016/j.tvjl.2011.11.009.

Nickell JS, White BJ. 2010. Metaphylactic Antimicrobial Therapy for Bovine Respiratory Disease in Stocker and Feedlot Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 26(2):285–301. doi:10.1016/j.cvfa.2010.04.006.

Pancieria RJ, Confer AW. 2010. Pathogenesis and pathology of bovine pneumonia. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 26(2):191–214. doi:10.1016/j.cvfa.2010.04.001.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2019. Regulamento (UE) 2019/6 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativo aos

medicamentos veterinários. [accessed 2025 Apr 6]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0006>.

Porter MM, McDonald PO, Slate JR, Kreuder AJ, McGill JL. 2021. Use of thoracic ultrasonography to improve disease detection in experimental BRD infection. *Front Vet Sci.* 8. doi:10.3389/fvets.2021.763972.

Di Provido A, Di Teodoro G, Muuka G, Marruchella G, Scacchia M. 2018. Lung lesion score system in cattle: proposal for contagious bovine pleuropneumonia. *Trop Anim Health Prod.* 50(1):223–228. doi:10.1007/s11250-017-1409-2.

Sandberg M, Ghidini S, Alban L, Capobianco Dondona A, Blagojevic B, Bouwknecht M, Lipman L, Seidelin Dam J, Nastasijevic I, Antic D. 2023. Applications of computer vision systems for meat safety assurance in abattoirs: A systematic review. *Food Control.* 150:109768. doi:10.1016/j.foodcont.2023.109768.

Santos JL, Santos LF, Costa WMT. 2014. *Produção de suínos: Teoria e prática.* 1st ed. Associação Brasileira dos criadores de suínos (ABCS).

Schneider MJ, Tait RG, Busby WD, Reecy JM. 2009. An evaluation of bovine respiratory disease complex in feedlot cattle: Impact on performance and carcass traits using treatment records and lung lesion scores^{1,2}. *J Anim Sci.* 87(5):1821–1827. doi:10.2527/jas.2008-1283.

Schneider MJ, Tait RG, Ruble M V., Busby WD, Reecy JM. 2010. Evaluation of fixed sources of variation and estimation of genetic parameters for incidence of bovine respiratory disease in preweaned calves and feedlot cattle¹². *J Anim Sci.* 88(4):1220–1228. doi:10.2527/jas.2008-1755.

Silva D. 2021 Apr 1. Cálculo do impacto económico da Síndrome Respiratória Bovina. *Revista Ruminantes.* [accessed 2025 Mar 27]. <https://revista-ruminantes.com/2021/04/01/calculo-do-impacto-economico-da-sindrome-respiratoria-bovina/>.

Skogerboe TL, Weigel DJ, Rooney KA, Gajewski K, Nutsch RG, Kilgore WR. 2005. Comparative efficacy of tulathromycin versus florfenicol and tilmicosin against undifferentiated bovine respiratory disease in feedlot cattle. *Veterinary Therapeutics.* 6(2):180–196. [accessed 2025 May 27]. <https://www.researchgate.net/publication/7664969>.

Smith RA, Step DL, Woolums AR. 2020. Bovine respiratory disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* 36(2):239–251. doi:10.1016/j.cvfa.2020.03.009.

Steinmann T, Blaha T, Meemken D. 2014. A simplified evaluation system of surface-related lung lesions of pigs for official meat inspection under industrial slaughter conditions in Germany. *BMC Vet Res.* 10(1):98. doi:10.1186/1746-6148-10-98.

Stilwell G. 2013a. Clínica de bovinos. Colab. Lima MLS. Lisboa (PT): Publicações Ciência & Vida. 320 p. Edição especial para a Bayer.

Stilwell G. 2013b. Effect of selenium and vitamin E, age and weight on daily weight gain and respiratory disease prevalence in feedlot calves 17–20. In: 31st World Veterinary Congress (17–20 September 2013). Prague, Czech Republic.

Taylor JD, Fulton RW, Lehenbauer TW, Step DL, Confer AW. 2010. The epidemiology of bovine respiratory disease: What is the evidence for preventive measures? *Can Vet J.* 51(12):1351–1359.

Taylor JD, Griffin D, Janzen ED, McKinnon JJ, Hurd HS. 2019. Documenting BRD incidence and animal health costs associated with BRD in your herd [Internet]. Beef Cattle Extension. [cited 2025 may 29].

Thompson PN, Stone A, Schultheiss WA. 2006. Use of treatment records and lung lesion scoring to estimate the effect of respiratory disease on growth during early and late finishing periods in South African feedlot cattle¹. *J Anim Sci.* 84(2):488–498. doi:10.2527/2006.842488x.

Tóth M, Dér D, Botos SB, Szilágyi R. 2019. Computer vision in agriculture, application development using open source tools and systems. *Journal of Agricultural Informatics.* 10(2). doi:10.17700/jai.2019.10.2.545.

Ulrici A, Foca G, Ielo MC, Volpelli LA, Lo Fiego D Pietro. 2012. Automated identification and visualization of food defects using RGB imaging: Application to the detection of red skin defect of raw hams. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 16:417–426. doi:10.1016/j.ifset.2012.09.008.

“U.S. FDA / Schering-Plough Animal Health.” 2008. Freedom of Information Summary – NUFLOL GOLD Injectable Solution.

Veit HP, Farrell RL. 1978. The anatomy and physiology of the bovine respiratory system relating to pulmonary disease. *Cornell Vet.* 68(4):555–581.

Wright J. 2023 Jan 27. Catch Cattle Lameness with Economical Thermal Cameras. [accessed 2025 Apr 23]. <https://www.testers.co.uk/advice/catch-cattle-lameness-with-economical-thermal-cameras>.

Xue Y, Bastiaansen JWM, Khan HA, Komen H. 2023. An analytical framework to predict slaughter traits from images in fish. *Aquaculture.* 566:739175. doi:10.1016/j.aquaculture.2022.739175.

Yamasa. 2018 Nov 7. Yamasa lança ovoscopia automática por câmeras. Yamasa. [accessed 2025 Apr 1]. <https://www.yamasa.com.br/pt-BR/noticia/72-yamasa-lanca-ovoscopia-automatica-por-cameras>.

Yamasa lança novo equipamento, a ovoscopia automática por câmeras. 2018 Nov 12.
A Hora do Ovo. [accessed 2025 Apr 1].
<https://ahoradoovo.com.br/lista/ovonews/post/Yamasa-lanca-novo-equipamento-a-ovoscopia-automatica-por-cameras>.