

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA



UNIVERSIDADE
DE LISBOA



EFEITO DO LASER TERAPÊUTICO CLASSE IV NO PROCESSO DA CICATRIZAÇÃO DE
FERIDAS PÓS-CIRÚRGICAS EM CANIS FAMILIARIS E FELIS CATUS: ESTUDO PRELIMINAR

ANA RITA CLARO LOPES

ORIENTADOR(A):

Doutor Luís Miguel Alves Carreira

COORIENTADOR:

Doutor Pedro Ricardo Almeida Santos
Azevedo

2025

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA



UNIVERSIDADE
DE LISBOA



EFEITO DO LASER TERAPÊUTICO CLASSE IV NO PROCESSO DA CICATRIZAÇÃO DE
FERIDAS PÓS-CIRÚRGICAS EM CANIS FAMILIARIS E FELIS CATUS: ESTUDO PRELIMINAR

ANA RITA CLARO LOPES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

JÚRI

PRESIDENTE:

Doutora Lisa Alexandra Pereira Mestrinho

VOGAIS:

Doutor Fernando Ribeiro Alves Afonso

Doutor Luís Miguel Alves Carreira

ORIENTADOR:

Doutor Luís Miguel Alves Carreira

COORIENTADOR:

Doutor Pedro Ricardo Almeida Santos

Azevedo

DECLARAÇÃO RELATIVA ÀS CONDIÇÕES DE REPRODUÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Nome: Ana Rita Claro Lopes

Título da Tese ou Dissertação: Efeito do LASER Terapêutico Classe IV no Processo da Cicatrização de Feridas Pós-Cirúrgicas em *Canis familiaris* e *Felis catus*: Estudo Preliminar

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, 1 de Julho de 2025

(indicar aqui a data da realização das provas públicas)

Assinatura: Ana Rita Claro Lopes

Agradecimentos

A realização desta tese representa o culminar de um percurso desafiante, mas profundamente enriquecedor, que apenas foi possível graças ao contributo, apoio e inspiração de várias pessoas e entidades, às quais manifesto aqui a minha sincera gratidão.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Miguel Carreira, e ao meu coorientador, Dr. Pedro Azevedo, pela orientação científica rigorosa, pela disponibilidade constante e pelos ensinamentos partilhados ao longo de todo o processo. A sua exigência constante aliada ao apoio incondicional foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação e para o meu crescimento académico e pessoal.

Agradeço também a toda a equipa do Centro de Medicina Veterinária Anjos de Assis – CMVAA, que disponibilizou a recolha de dados e o acompanhamento dos doentes internos do centro, para além do profissionalismo e dedicação demonstrados, bem como por toda a ajuda logística prestada.

Aos meus colegas e amigos, pelo companheirismo, apoio emocional e pelas conversas que tantas vezes aliviaram os momentos de maior pressão. A vossa presença foi essencial para manter o equilíbrio ao longo desta etapa.

À minha família, expresso uma gratidão profunda e emocionada. Aos meus pais, que sempre foram o meu alicerce, agradeço todo o amor incondicional, os valores que me transmitiram e por nunca terem deixado de acreditar em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Foram inúmeras as vezes que bastou uma palavra vossa para eu encontrar forças e continuar. À minha mana, a minha companheira de vida, obrigada por me fazeres rir quando mais precisei, por me escutares, por estares sempre ao meu lado, mesmo em silêncio. O vosso apoio, presença e carinho foram e serão sempre fundamentais para tudo aquilo que sou e que conquisto. Esta vitória é também vossa.

Ao meu namorado, agradeço profundamente por toda a paciência, compreensão e apoio incondicional nos momentos mais exigentes deste processo. A tua presença constante, mesmo nos dias mais difíceis, foi um pilar fundamental para que nunca perdesse o foco nem a motivação. Obrigada por acreditares em mim mesmo quando eu duvidei.

Por fim, agradeço a todos os animais que fizeram parte deste estudo. A sua contribuição silenciosa, mas essencial, permitiu não apenas a realização desta investigação, como também reforçou o compromisso com o bem-estar animal que define medicina veterinária.

A todos, o meu muito obrigado.

Efeito Do LASER Terapêutico Classe IV no Processo da Cicatrização das Feridas Cirúrgicas em *Canis familiaris* e *Felis catus*: Estudo Preliminar

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos terapêuticos do LASER Terapêutico de classe IV no processo de cicatrização de feridas cirúrgicas em cão e gato. Foram incluídos 49 animais (N = 49), sendo 25 cães e 24 gatos, de ambos os gêneros, e de diferentes faixas etárias. Utilizou-se um modelo experimental intraindividual do tipo *split-wound*, no qual a metade cranial/proximal da incisão cirúrgica recebeu aplicação de LASER (CL) e a metade caudal/distal não recebeu qualquer tipo de fototerapia (controle – SL), isolando a aplicação do LASER como variável independente. O protocolo terapêutico adotado variava consoante a área incisional a ser irradiada apesar emitir sempre as frequências de 1, 2, 10 e 25 kHz. A cicatrização foi avaliada com base numa escala validada que considerou seis parâmetros cutâneos: espessura, coloração, hematoma, temperatura, elasticidade e fluídos. As avaliações realizaram-se em três momentos diferentes: T0 (pós-operatório imediato), T1 (48 horas pós-cirurgia) e T2 (8 dias pós-cirurgia). Os resultados demonstraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) em todos os parâmetros na área tratada com LASER (CL), indicando efeitos positivos no controlo da inflamação, revascularização, reorganização da matriz extracelular e da viabilidade celular. Tais efeitos são atribuídos à ação do LASER na cadeia mitocondrial e na modulação de citocinas e de fatores de crescimento. Não foram observadas diferenças significativas entre espécies, gêneros, idades ou condição corporal, sugerindo uma resposta fisiológica uniforme. Os resultados obtidos sugerem que a técnica de fotobiomodulação com LASER Terapêutico de classe IV é eficaz, consistente, não invasiva e promissora na cicatrização de feridas cirúrgicas no cão e no gato.

Palavras-chave: cão; gato; ferida cirúrgica; LASER terapêutico classe IV; cicatrização.

Effect of Class IV Therapeutic LASER on Post-Surgical Wound Healing Process in *Canis familiaris* and *Felis catus*: Preliminary Study

Abstract

The present study aimed to evaluate the therapeutic effects of class IV LASER on the healing process of surgical wounds in dogs and cats. Forty-nine animals (N = 49), including 25 dogs and 24 cats of both gender and different ages, were enrolled. An intraindividual split-wound model was used: the cranial/proximal half of each surgical wound received LASER therapy (CL), while the caudal/distal half served as an untreated control (SL), isolating LASER application as the independent variable. The therapeutic protocol varied according to the incisional area to be irradiated but always emitted frequencies of 1, 2, 10 and 25 kHz. Wound healing was assessed using a validated scoring system based on six dermatological parameters: thickness, colour, hematoma, temperature, elasticity, and fluids. Assessments were performed at three time points: T0 (immediate postoperative), T1 (48 hours postoperatively), and T2 (8 days postoperatively). Statistically significant differences ($p < 0,05$) were observed in all parameters in the LASER-treated areas compared to controls, indicating enhanced inflammation control, revascularization, extracellular matrix remodelling, and cell viability. These effects are attributed to LASER-induced mitochondrial activation, and modulation of cytokines and growth factors. No significant differences were found between species, gender, ages, or body condition scores, suggesting a uniform physiological response. The results suggest that the photobiomodulation technique with class IV therapeutic LASER is effective, consistent, non-invasive and promising for the healing of surgical wounds in dogs and cats.

Keywords: dog; cat; surgical wound; class IV therapeutic LASER; wound healing.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de gráficos	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	x
Lista de abreviaturas e siglas	xi
I. Atividades realizadas durante o estágio curricular	1
II. Enquadramento teórico	3
1. A pele	3
1.1. A camada da epiderme	4
1.2. A camada da derme	6
1.3. A camada da hipoderme	6
2. O fenómeno de cicatrização: a inflamação e a reparação tecidual numa perspetiva imunocelular, molecular e clínica	7
3. O LASER (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação – LASER, <i>light amplification by stimulated emission</i>)	13
3.1. Contextualização histórica da luz LASER	13
3.2. O fenómeno de produção	15
3.3. O LASER terapêutico classe IV na promoção da cicatrização	15
III. Estudo experimental	18
1. Objetivos	18
2. Materiais e métodos	18
2.1 Amostra e desenho experimental	18
3. Resultados	20
3.1. Caracterização da amostra	20
3.2. Estatística inferencial	23
3.2.1. Espessura da pele	23
3.2.2. Coloração da pele	24
3.2.3. Presença de hematomas	24
3.2.4. Temperatura regional	25
3.2.5. Elasticidade da pele	26
3.2.6. Presença de fluídos	26
3.3. Comparação interespécies (cão VS gato)	27
3.3.1. Espessura da pele	27
3.3.2. Coloração da pele	28

3.3.3. Presença de hematomas	29
3.3.4. Temperatura regional.....	30
3.3.5. Elasticidade da pele	31
3.3.6. Presença de fluídos.....	32
3.4. Influência dos fatores idade, género e condição corporal nos parâmetros avaliados com a escala de cicatrização na amostra total.....	33
3.4.1. Espessura da pele.....	33
3.4.2. Coloração da pele	33
3.4.3. Presença de hematomas	34
3.4.4. Temperatura regional.....	35
3.4.5. Elasticidade da pele	35
3.4.6. Presença de fluídos.....	35
4. Discussão.....	36
5. Conclusão	41
6. Bibliografia.....	43
7. Anexos.....	45
Anexo I – Escala para avaliação do processo de cicatrização de ferida cirúrgica (EAPCFC) (Vitor 2015).....	45
Anexo II – Escala para avaliação do processo de cicatrização de ferida cirúrgica (EAPCFC) adaptada ao presente estudo (Original).....	45
Anexo III – Dispositivo de LASER terapêutico classe IV doctorvet utilizado no presente estudo (doctorvet user manual)	46
Anexo IV – Imagens do monitor do LASER terapêutico classe IV doctorvet para seleção dos protocolos terapêuticos utilizados no presente estudo	46
Anexo V – Imagem de ferida cirúrgica no membro pélvico nos momentos de avaliação T0 e em T1, com aplicação do LASER terapêutico classe IV na zona CL, e onde é possível avaliar a diferença cutânea em T1 entre SL e CL, hematoma evidente, discreto nível de fluido regional em SL contrariamente ao avaliado em CL (Original)	46

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Percentual referente aos casos observados em cada área clínica durante o estágio curricular.....	2
Gráfico 2 – Expressividade percentual da diversas áreas da Medicina Interna.....	3
Gráfico 3 – Evolução da espessura da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).....	23
Gráfico 4 – Evolução do parâmetro qualitativo da coloração da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).....	24
Gráfico 5 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à presença de hematomas na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL)	25
Gráfico 6 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à temperatura regional na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).....	25
Gráfico 7 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à elasticidade da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).....	26
Gráfico 8 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à presença de fluídos subcutâneos na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).....	27
Gráfico 9 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: espessura da pele.....	28
Gráfico 10 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: coloração da pele.....	29
Gráfico 11 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de hematomas.....	30

Gráfico 12 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: temperatura regional.....	31
Gráfico 13 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro avaliado: elasticidade da pele.....	32
Gráfico 14 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de fluídos.....	33

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Protocolos terapêuticos utilizados na fotobiomodulação das incisões.....	19
Tabela 2 – Caracterização da amostra total (N = 49) e dos dois grupos de espécies considerados no estudo – cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) – relativamente aos parâmetros de idade, peso vivo, género, condição corporal e estado reprodutivo.....	21
Tabela 3 – Caracterização da amostra total (N = 49) e dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente aos parâmetros avaliados com a escala de cicatrização de feridas: espessura a pele, coloração da pele, presença de hematomas, temperatura regional, elasticidade da pele e presença de fluídos.....	21
Tabela 4 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: espessura da pele.....	27
Tabela 5 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: coloração da pele.....	28
Tabela 6 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de hematomas.....	29
Tabela 7 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: temperatura regional.....	30

Tabela 8 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: elasticidade da pele	31
Tabela 9 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (<i>Canis familiaris</i> , n = 25) e gato (<i>Felis catus</i> , n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de fluídos.....	32
Tabela 10 – Coeficientes estatísticos que ilustram a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: espessura da pele	33
Tabela 11 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: coloração da pele	34
Tabela 12 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: presença de hematomas	34
Tabela 13 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: temperatura regional.....	35
Tabela 14 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: elasticidade da pele	35
Tabela 15 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: presença de fluídos.....	36

Lista de Figuras

Figura 1 – Anatomia microscópica da pele.....	4
Figura 2 – Organização histológica da epiderme.....	5
Figura 3 – Diagrama representativo da cascata de adesão leucocitária	10
Figura 4 – Representação dos mecanismos que contribuem para a resolução da inflamação, remoção do exsudado inflamatório e transição para a fase de reparação tecidual.....	11
Figura 5 – Representação esquemática do processo de cicatrização por primeira intenção, evidenciando as principais fases histológicas	12
Figura 6 – Cadeia transportadora de eletrões.....	17
Figura 7 – Profundidade de captação da luz (%) na pele em diferentes comprimentos de onda	18

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

% – Percentagem

λ – Comprimento de onda

ALSC – Clube americano de estudo do LASER (*American LASER Study Club*)

ASLMS – Sociedade americana de medicina e cirurgia a LASER (*American Society for LASER Medicine and Surgery*)

ATP – Adenosina trifosfato

CL – Metade cranial/ proximal da sutura sujeita à aplicação do feixe de LASER terapêutico classe IV

cm² – Centímetro quadrado

CMVAA – Centro de Medicina Veterinária Anjos de Assis

COX – Citocromo C oxidase

CW – Onda contínua

EAPCFC – Escala para avaliação do processo de cicatrização de ferida cirúrgica

f - Frequência

FDA – Administração de alimentos e medicamentos (*Food and Drug Administration*)

FGF – Fator de crescimento fibroblástico (*fibroblast growth factor*)

GaAs – Arsenieto de Gálio

He - Hélio

HPLT – LASER terapêutico de alta intensidade (*high power LASER therapy*)

ICAM-1 – Molécula de adesão intercelular 1 (*intercellular adhesion molecule 1*)

ILTA – Associação internacional de terapia a LASER (*International LASER Therapy Association*)

IL-1 – Interleucina-1

IL-8 – Interleucina-8

IL-10 – Interleucina-10

ISLAM – Sociedade internacional para aplicações médicas de laser (*International Society for Medical LASER Applications*)

J – Joule

kHz – Quilohertz

LASER – Amplificação de luz por emissão estimulada de radiação (*light amplification by stimulated emission of radiation*)

LLLT – LASER terapêutico de baixa intensidade (*low-level LASER therapy*)

MASER – Amplificação de micro-ondas por emissão estimulada de radiação (*Microwave amplification by stimulated emission of radiation*)

MCP-1 – Proteína quimioatraente de monócitos 1 (*monocyte chemoattractant protein 1*)

MEC – Matriz extracelular (*extracellular matrix*)

MMPs – Metaloproteinases da Matriz Extracelular

NAALT – Associação norte-americana de terapia a LASER (*North American Association for LASER therapy*)

Ne – Néon

nm – Nanómetro

OVH – Ovariohisterectomia

PDGF – Fator de crescimento derivado das plaquetas (*platelet-derived growth factor*)

PRP – Plasma rico em plaquetas

ROS – Espécies reativas de oxigénio (*reactive oxygen species*)

seg – Segundos

SL – Metade caudal/distal da sutura não sujeita ao uso do LASER terapêutico classe IV

SPSS – *Statistical package for the social sciences*

T0 – Período correspondente ao pós-operatório imediato

T1 SL – Período correspondente às 48h pós-cirúrgicas no grupo que não foi submetido ao LASER terapêutico

T1 CL – Período correspondente às 48h pós-cirúrgicas no grupo que foi submetido ao LASER terapêutico

T2 SL – Período correspondente a 8 dias após a intervenção cirúrgica no grupo que não foi submetido ao LASER terapêutico

T2 CL – Período correspondente a 8 dias após a intervenção cirúrgica no grupo submetido ao LASER terapêutico

TGF- β – Fator de crescimento transformador beta (*transforming growth factor beta*)

TNF- α – Fator de necrose tumoral alfa (*tumor necrosis factor alpha*)

TIMPs – Inibidores tecidulares das metaloproteinases

VCAM-1 – Molécula de adesão celular vascular 1 (*vascular cell adhesion molecule 1*)

VEGF – Fator de crescimento endotelial vascular (*vascular endothelial growth factor*)

W – Watt

WALT – Associação Mundial para a Terapia Fotobiomodeladora (*World Association for Photobiomodulation Therapy*)

I. Atividades realizadas durante o estágio curricular

O meu estágio curricular, integrado no 6.º ano do mestrado integrado em medicina veterinária, decorreu na área clínica dedicada à medicina e cirurgia de animais de companhia e exóticos no Centro de Medicina Veterinária Anjos de Assis (CMVAA) localizado no barreiro, sob orientação do Professor Dr. Miguel Carreira e coorientação do Dr. Pedro Azevedo. O estágio teve início em setembro de 2024 e finalizou em março de 2025, contabilizando aproximadamente 1400 horas.

As áreas abordadas e de exposição incluíram a medicina preventiva, a medicina interna e de especialidades, a cirurgia geral e especializada, a medicina laboratorial, a medicina de imagem e gestão clínica, onde me foi possível acompanhar e participar direta e ativamente.

Na área da medicina preventiva, participei em consultas informativas a cuidadores com animais recém-adquiridos, implementação de protocolos vacinais e de desparasitação adaptados a cada doente, identificação eletrónica e emissão de documentação legal.

Relativamente à medicina interna e de especialidades, a minha participação decorreu quer em contexto de consulta em contacto direto com os cuidadores, quer na parte interna do centro de acesso exclusivo ao pessoal técnico onde se inclui também a enfermaria de internamento. As especialidades abrangidas foram múltiplas, passando pela dermatologia, gastroenterologia, otorrinolaringologia, estomatologia e odontologia, oftalmologia, endocrinologia, cardiologia, pneumologia, nefrologia, urologia, reprodução, obstetrícia, ortopedia e traumatologia, neurologia, oncologia, infeciologia, parasitologia, imunologia, toxicologia, hematologia e urgências.

Foi-me dada oportunidade de realização independente, embora supervisionada, de diversos procedimentos técnicos médico-cirúrgicos, realizados em doentes conscientes, sedados ou sob anestesia local e geral, como por exemplo, lavagens traqueobrônquicas, lavagens vesicais, punção aspirativa com agulha fina (PAAF) cega e ecoguiada, biópsias excisionais em diversos órgãos, toracocentese, abdominocentese, cistocentese, algaliação, drenagem de abscessos, realização de todas as tipologias de pensos, tratamento de feridas, sessões de LASER (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação) terapêutico classe IV, oxigenoterapia e reanimação cérebrocardiopulmonar. Em regime de internamento, tive ainda a possibilidade de realizar colheitas de amostras biológicas, sanguíneas, administração de fármacos, fluidoterapia, monitorização dos doentes, exames físicos objetivos, alimentação, higiene e promoção do bem-estar animal como aquecimento de doentes hipotérmicos, correção postural ou o acompanhamento de visitas dos cuidadores.

No âmbito da cirurgia, os procedimentos foram divididos em pequena e grande cirurgia. Na pequena cirurgia realizaram-se exérese de neofomações, orquiectomia felina, suturas, desbridamento de tecidos necróticos em feridas e odontoplastias em roedores e

lagomorfos. No contexto da grande cirurgia, sempre realizada com o doente sob anestesia geral, foram realizados blocos operatórios que integraram as áreas da teriogeneologia, oncologia, ortopedia e traumatologia, nefrologia, neurocirurgia, gastroenterologia, estomatologia, oftalmologia, plástica, otorrinolaringologia. No decurso de cada cirurgia, houve a possibilidade de trabalhar em sistema de rotatividade entre o papel de anestesista e de ajudante do cirurgião.

No que respeita aos exames complementares de diagnóstico, eles realizaram-se sob os campos da medicina laboratorial, imagiologia e eletrocardiografia. Em laboratório, realizei análises bioquímicas, hematológicas, ionogramas, serologia, doseamentos hormonais, urianálise, exames coprológicos e preparação de amostras para análise citológica e/ou histopatológica para laboratório externo. No âmbito da imagiologia, foi possível efetuar inúmeros estudos radiológicos em diferentes projeções radiográficas e posicionamento dos doentes. Além disso, a visualização de várias ultrassonografias, principalmente a transabdominal, mas também de ecocardiografia possibilitou a sistematização dos diferentes conceitos teóricos captados ao longo do curso, permitindo a aplicação prática dos mesmos assim como uma visão muito mais esclarecedora deste meio complementar de diagnóstico, muitas vezes complementado com a visualização direta em bloco operatório das imagens previamente avaliadas.

Durante o estágio curricular, a área com maior casuística foi a medicina interna (67%), seguida da medicina preventiva (24%) e por último a cirurgia (9%) (gráfico 1). tal como ilustra o gráfico 2, de entre as especialidades integrantes de medicina interna, a dermatologia foi a especialidade com maior representatividade com 14,6%, seguida da gastroenterologia (12%) e da ortopedia (11,4%). relativamente à cirurgia, a teriogeneologia foi o setor com maior expressividade.

Gráfico 1 – Percentual dos casos observados em cada área clínica durante o estágio curricular

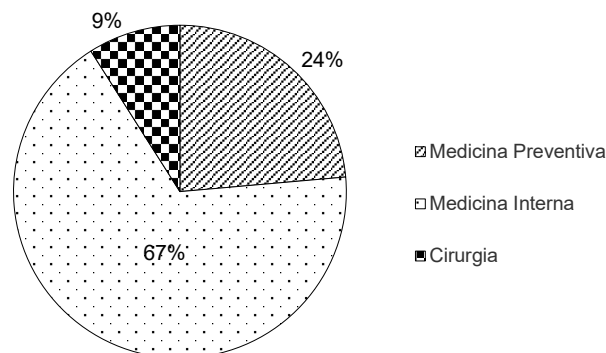
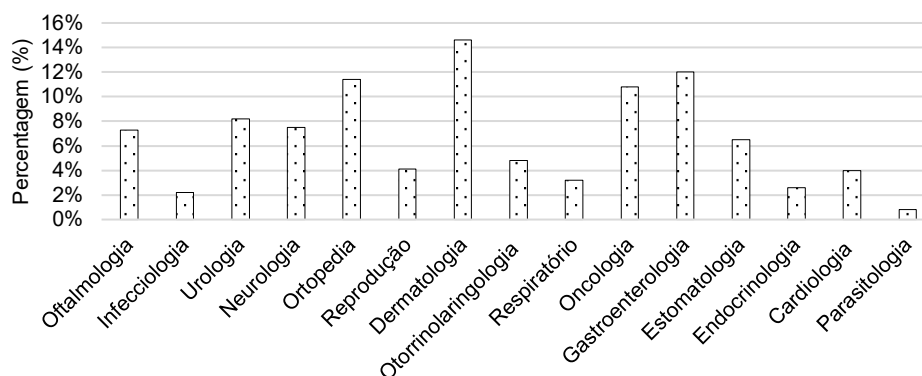


Gráfico 2 – Expressividade percentual da diversas áreas da medicina interna



II. Enquadramento teórico

1. A pele

A pele constitui o maior órgão do corpo dos mamíferos, representado cerca de 15% do peso corporal total. Sendo o órgão que recobre externamente todo o corpo, é composta por três camadas principais (Figura 1): a epiderme, que atua como barreira física e imunitária; a derme, camada intermédia que integra vasos sanguíneos, nervos e glândulas anexas; e a hipoderme, também designada tecido subcutâneo, constituída maioritariamente por tecido adiposo, cuja função inclui a absorção de impactos mecânicos e isolamento térmico (Miller et al. 2013).

A pele desempenha um conjunto de funções essenciais à sobrevivência dos indivíduos. Protege contra agentes químicos, físicos e microbiológicos, nestes últimos graças à ação das células de Langerhans. É fundamental na função sensorial, já que integra recetores que percecionam estímulos como o toque, calor, frio, dor, pressão e prurido. Possui ainda função de secreção e excreção de substâncias através das glândulas sebáceas e sudoríparas, essenciais na termorregulação e lubrificação da pele. Participa também no controlo da vasodilatação/ vasoconstrição e sudorese, possibilitando assim uma eficiente termorregulação. Tem ainda a capacidade de conseguir fazer o armazenamento de água, eletrólitos, gordura e vitaminas, assegurando assim a presença de reservas importantes para o organismo. É ainda fundamental na síntese de vitamina D, estimulada pela radiação solar, assumindo um papel crucial na saúde óssea (Jackson and Marsella 2012; Sadler 2012; Singh 2017).

Os estudos recentes destacam a relevância do pH cutâneo na manutenção da integridade da pele e no correto desenvolvimento do fenómeno de cicatrização de feridas, já que um pH ligeiramente ácido na superfície epidérmica inibe a proliferação de microrganismos patogénicos, para além de regular diversas enzimas intervenientes na renovação epidérmica (Schreml et al. 2010).

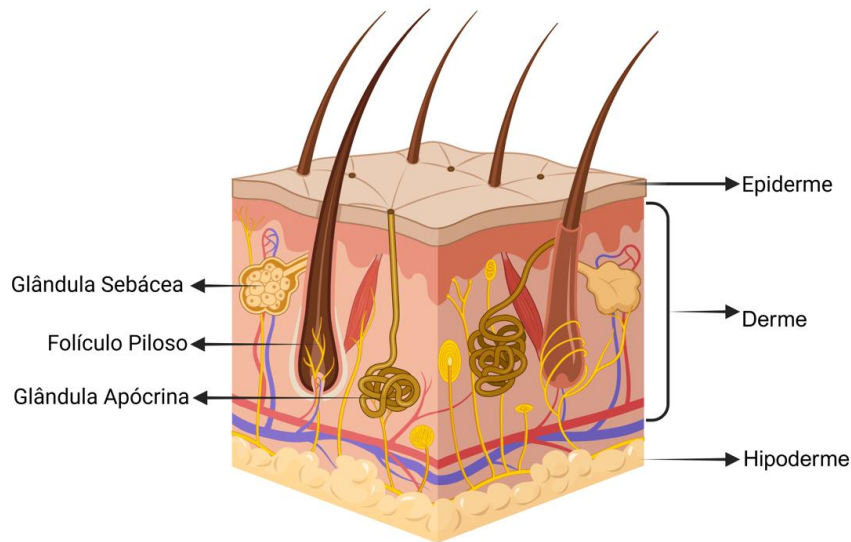


Figura 1 – Anatomia microscópica da pele (criado em biorender.com).

1.1. A camada da epiderme

A epiderme constitui a camada mais superficial da pele formada por um epitélio estratificado pavimentoso queratinizado que abarca queratinócitos, o tipo celular mais frequente, melanócitos, células de Langerhans e células de Merkel (Junqueira and Carneiro 2013), garantindo uma interface eficaz contra os insultos externos, encontrando-se em constante renovação (Singh 2017). Esta barreira pode ser dividida em cinco estratos diferentes que se caracterizam de acordo com a morfologia (Figura 2): basal/germinativo, espinhoso, granular, córneo e o estrato lúcido apenas presente nas regiões glabras (Hyttel et al. 2012).

A camada basal ou germinativa, a mais interna da epiderme, é rica em células estaminais cuboides ligeiramente basófilas com elevada atividade mitótica, melanócitos, células de Langerhans e células de Merkel, que assentam na membrana basal (Welle and Linder 2022). O estrato espinhoso é composto por células cuboides ou ligeiramente achatadas, com núcleo central e citoplasma provido de tonofilamentos. Cada célula encontra-se interligada por desmossomas que reforçam a coesão e resistência mecânica que a epiderme apresenta. Por outro lado, a camada granulosa é formada por células poligonais achatadas com núcleo central e citoplasma com grânulos basófilos queratohialinos e lamelares, que conferem impermeabilidade à pele. Quando presente, o estrato lúcido é constituído por células translúcidas desprovidas de núcleo (Junqueira and Carneiro 2013). Por último, a camada córnea caracteriza-se por ser a interface mais superficial da epiderme, contém muitas células mortas queratinizadas, achatadas e sem núcleo, denominadas queratinócitos. Os queratinócitos sintetizados no estrato basal a partir das células germinativas vão ascendendo pelos diversos estratos, sofrendo alterações conformacionais e biológicas até atingirem o estrato córneo, já completamente queratinizados e sem vida. Este ciclo sob condições fisiológicas, dura em média 30 dias, e garante uma barreira resistente e em constante renovação do órgão da pele (Welle and Linder 2022).

Embriologicamente, a epiderme surge a partir das células ectodérmicas, após o fenômeno de neurulação (Hyttel et al. 2012; Singh 2017). Inicialmente, apresenta-se como uma monocamada com microvilosidades pontuais. De seguida, esta monocamada fraciona-se e, com a proliferação epitelial vai originar a camada basal e uma outra camada de células achatadas que envolve a superfície corporal, de nome periderme (Sadler 2012). Com o crescimento das células da camada basal, surge o terceiro estrato – a camada intermédia. Por volta da metade da gestação, a epiderme assume a organização definitiva em quatro estratos (Hyttel et al. 2012).

Durante a segunda metade da vida intrauterina, as células da periderme descamam e surgem no líquido amniótico. Por outro lado, no primeiro terço do desenvolvimento embrionário, as células provenientes da crista neural colonizam a epiderme e iniciam a produção de melanina, a qual será transferida para os queratinócitos e folículos pilosos, dando origem assim à pigmentação da pele e dos pelos (Sadler 2012).

As células de Langerhans presentes na epiderme, são originárias da medula óssea, mais propriamente, da linhagem monocítica-macrofágica. São responsáveis por modularem a resposta imunitária da pele, ao apresentarem e processarem os diferentes antígenos aos linfócitos T (Welle and Linder 2022).

Atualmente, o microambiente epidérmico têm sido alvo de muito interesse na sua globalidade no que respeita a parâmetros como o pH e os diferentes fatores imunológicos que participam na regulação da proliferação e diferenciação dos queratinócitos, ilustrando assim a epiderme como um sistema dinâmico que integra um conjunto múltiplo de sinais ambientais, endócrinos e imunológicos de forma a manter a homeostasia e a proteção do organismo (Schreml et al. 2010; Sorg and Sorg 2023).

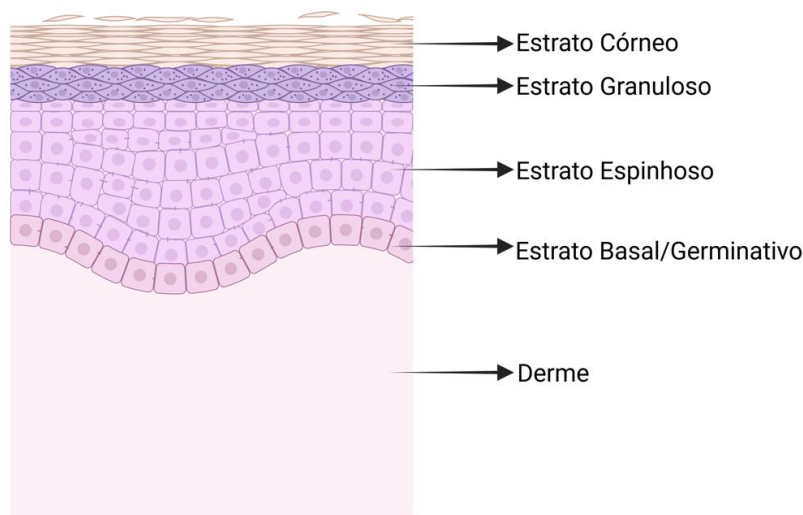


Figura 2 – Organização histológica da epiderme (criado com biorender.com)

1.2. A camada da derme

A derme é composta por tecido conjuntivo que nutre a epiderme e que estabelece a ligação com a hipoderme. Na sua estrutura apresenta predominantemente fibroblastos, células produtoras de fibras elásticas de colagénio que são responsáveis pela plasticidade e flexibilidade, e por fibras de elastina. Estas fibras estão inclusas numa matriz rica em proteoglicanos e glicosaminoglicanos que sustentam a rede vascular, nervosa, linfática, folículos pilosos e glândulas sebáceas e sudoríparas, que conferem resistência e elasticidade ao órgão (Singh 2017). Possui ainda mastócitos responsáveis pela libertação de histamina aquando respostas alérgicas e/ou inflamatórias, macrófagos e linfócitos que atuam na defesa imunológica (Junqueira and Carneiro 2013). Estruturalmente, a derme pode ser dividida em duas camadas: o estrato papilar, mais superficial e que é responsável pela formação das papilas dérmicas responsáveis pelo aumento da superfície de contacto com a epiderme, contribuindo assim, para a otimização das trocas gasosas e nutricionais entre os tecidos (Singh 2017); e o estrato reticular, o mais profundo, é formado por tecido conjuntivo denso com fibras de colagénio espessas e entrelaçadas, capazes de resistir a pressões e trações mecânicas (Junqueira and Carneiro 2013).

Embriologicamente, de acordo com a localização anatómica corporal, a derme pode ter várias origens. Assim, nos membros e parede corporal, a derme surge a partir da mesoderme lateral; na região do dorso é formada a partir da mesoderme paraxial e da cabeça e do pescoço deriva da ectoderme cranial da crista neural (Sadler 2012).

Primeiramente, a derme que se concretiza trata-se de um tecido conjuntivo laxo composto por células mesenquimatosas interligadas, responsáveis pela secreção de matriz intercelular rica em ácido hialurónico e glicogénio. Posteriormente, estas células diferenciam-se em fibroblastos que produzem colagénio e fibras elásticas. Por fim, após total diferenciação, a derme passa a ser constituída por um tecido conjuntivo fibroblástico, vascularizado e subdividido na porção papilar e reticular (Hyttel et al. 2012).

1.3. A camada da hipoderme

A hipoderme ou tecido subcutâneo é o estrato mais profundo da pele. É composta por tecido conjuntivo laxo e por tecido adiposo, vasos sanguíneos e nervos os quais contribuem para os mecanismos de termorregulação e capacidade sensorial da pele (Miller et al. 2013). Funcionalmente, atua como uma fundamental reserva energética e que é também responsável pelo amortecimento de impactos externos ao organismo (Junqueira and Carneiro 2013). O tecido subcutâneo apresenta ainda uma função crucial no armazenamento de água, eletrólitos e nutrientes, assim como, na produção de hormonas como a leptina (Sadler 2012). Embriologicamente, surge a partir da mesoderme aquando do desenvolvimento fetal, sendo

composta por células mesenquimatosas que posteriormente se diferenciam em fibroblastos e adipócitos, originando o tecido final da hipoderme (Hyttel et al. 2012).

2. O fenómeno de cicatrização: a inflamação e a reparação tecidual numa perspetiva imunocelular, molecular e clínica

A inflamação e a reparação tecidual constituem processos centrais na resposta do organismo a diferentes formas de lesão, sejam de origem física, química, infecciosa ou imunológica. Estes processos estão profundamente interligados, assegurando a defesa, a eliminação do agente lesivo e a restauração da homeostasia tecidual, mas também evidenciam uma regulação altamente complexa que exige uma análise integrada ao nível imunocelular, molecular e clínico (Kumar et al. 2020; Ackerman 2022).

A inflamação aguda representa a primeira resposta do sistema imunitário inato perante uma lesão, sendo caracterizada por alterações no fluxo e calibre vascular, aumento da permeabilidade vascular, marginação, migração e ativação de leucócitos. Inicialmente ocorre uma vasoconstrição transitória das arteríolas, seguida de vasodilatação que promove um aumento do fluxo sanguíneo e contribui não só para o aumento da permeabilidade vascular, como também para a diminuição da velocidade circulatória.

O aumento da permeabilidade vascular ocorre devido à ação de múltiplos mediadores inflamatórios como a histamina, a bradicinina e citocinas que promovem o extravasamento de proteínas plasmáticas e a formação de edema. Diversos mecanismos contribuem para o aumento da permeabilidade endotelial, incluindo a contração ou retração das células endoteliais, a lesão endotelial direta ou mediada por leucócitos, aumento do fenómeno de transcitose e ainda o extravasamento através de capilares em regeneração (Ackerman 2022). Durante esta fase, os leucócitos realizam marginação, rolamento, adesão estável ao endotélio, transmigração através do endotélio e migração quimiotática para o local da lesão. A interação entre moléculas de adesão, como selectinas e integrinas, e as respetivas imunoglobulinas endoteliais (ICAM-1: molécula de adesão intercelular 1, VCAM-1: molécula de adesão celular vascular 1) é essencial para esta cascata de eventos, comumente denominada cascata de adesão leucocitária (Figura 3) (Ackerman 2022).

Durante o fenómeno de inflamação aguda, os neutrófilos são os primeiros a serem recrutados, seguidos dos monócitos que se diferenciam em macrófagos. Os macrófagos fagocitam microrganismos e detritos celulares, libertam enzimas lisossomais, radicais livres derivados de oxigénio e mediadores inflamatórios tais como as aminas vasoativas (como a histamina e serotonina), o sistema complemento (como o C3a e o C5a como anafilotoxinas quimiotáticas), o sistema das cininas (como a bradicinina), o sistema de coagulação (como os fibrinopeptídeos) e ainda os metabolitos do ácido araquidónico (como as prostaglandinas e os leucotrienos) que regulam os eventos de vasodilatação, permeabilidade vascular e

quimiotaxia. Além disso, a regulação da inflamação envolve ainda citocinas e quimiocinas, nomeadamente a IL-1 (interleucina-1), o TNF- α (fator de necrose tumoral alfa), a IL-8 (interleucina 8), e a MCP-1 (proteína quimioatraente de monócitos 1), que amplificam e modulam as respostas inflamatórias, ao passo que os mecanismos antioxidantes e inibidores de proteases limitam potenciais efeitos colaterais tecidulares (Abbas et al. 2022; Ackerman 2022).

Com a eliminação do estímulo agressor, inicia-se o processo de reparação tecidular, que pode decorrer por regeneração, quando as células danificadas são substituídas por células do mesmo tipo ou por cicatrização através da deposição de tecido conjuntivo (fibrose), sobretudo em lesões extensas ou em tecidos com capacidade regenerativa limitada (Kumar et al. 2020).

O processo de cicatrização, classicamente descrito em quatro fases sequenciais, mas sobrepostas — hemostase, inflamação, proliferação e remodelação — envolve uma complexa interação entre células, matriz extracelular (MEC) e fatores de crescimento (Ackerman 2022).

A hemostase ocorre imediatamente após a lesão, controlada inicialmente pelo vasoespasmos e pela ação aglomerante das plaquetas, que aderem ao colagénio exposto na matriz subendotelial. As plaquetas são responsáveis por desencadear a vasoconstrição, iniciar a trombogénese e estimular a angiogénese através da libertação de fatores de crescimento como o PDGF (fator de crescimento derivado das plaquetas) e o TGF- β (fator de crescimento transformador beta). Nos grandes vasos, fatores hemodinâmicos como a alteração no fluxo sanguíneo e calibre dos vasos assim como a redução da pressão arterial complementam este mecanismo.

A fase inflamatória sucede-se de forma contínua, prolongando-se por vários dias, dominada pela fagocitose de detritos, ação antimicrobiana e preparação do leito da ferida para a fase proliferativa (Isaac et al. 2010; Miller et al. 2013; Eming et al. 2017; Kumar et al. 2020; Wilkinson and Hardman 2020; Sorg and Sorg 2023).

Na fase proliferativa, fibroblastos, células endoteliais e células epiteliais são ativadas. A migração e proliferação de células basais do epitélio assegura a reepitelização, enquanto fibroblastos e miofibroblastos formam o tecido de granulação rico em colagénio tipo III e matriz provisória. A angiogénese é essencial nesta fase, garantindo o aporte de oxigénio e nutrientes adequados e a remoção de resíduos celulares. O fenómeno angiogénico inicia-se com a proteólise da MEC (Matriz Extracelular) e da membrana basal de vasos pré-existentes, formação de novos capilares, migração e proliferação de células endoteliais imaturas e ainda a maturação em vasos funcionais, com o recrutamento de pericitos e células musculares lisas. O VEGF (fator de crescimento endotelial vascular) e o FGF (fator de crescimento fibroblástico) regulam a maturação vascular, ao passo que as integrinas ($\alpha 5$, $\beta 3$) participam na adesão

celular à MEC, favorecendo a migração de células endoteliais e fibroblastos. Este ambiente vascularizado sustenta os processos de síntese de matriz, diferenciação celular e contração da ferida (Figura 4 e 5) (Gurtner et al. 2008; Isaac et al. 2010; Miller et al. 2013; Davidson 2015; Redondo and Stephens 2019; Sorg and Sorg 2023).

Os miofibroblastos são fibroblastos especializados com capacidade contrátil que se formam devido à ação do TGF- β . São constituídos por fibras de actina e miosina, junções comunicantes e um fibronexo que liga a actina intracelular à fibronectina da MEC, permitindo a contratilidade destas unidades celulares que irão aproximar as margens da ferida (Isaac et al. 2010; Miller et al. 2013; Kumar et al. 2020; Abbas et al. 2022; Ackerman 2022; Sorg and Sorg 2023).

A fase de remodelação ou maturação inicia-se cerca de três a quatro semanas após a lesão e pode prolongar-se por dois anos ou mais, envolvendo a conversão do tecido conjuntivo imaturo em tecido maduro, aumentando a resistência tênsil do tecido cicatrizado. O TGF- β exerce um papel fundamental na estimulação da quimiotaxia dos macrófagos, migração e proliferação de fibroblastos, síntese de colagénio e remodelação da MEC, em equilíbrio com a ação das MMPs (metaloproteinases da matriz extracelular) e TIMPs (inibidores tecidulares das metaloproteinases).

Em lesões ligeiras a moderadas, o colagénio, os proteoglicanos e a elastina são degradados por MMPs, enquanto os macrófagos removem os detritos celulares. Seguidamente, os fibroblastos, as células endoteliais e as células parenquimatosas proliferam ao longo das membranas basais; na eventualidade destas se encontrarem destruídas, o processo de cicatrização lentifica-se, exigindo a deposição de uma nova membrana basal (Kessler et al. 2011; Roy and Sen 2012; Davidson 2015; Vitor 2015; Kumar et al. 2020).

Nas situações em que a reparação é insuficiente ou perturbada por outros fatores como uma infeção persistente ou perda extensa de estroma, é possível ocorrerem determinadas alterações cicatriciais como a fibrose patológica, a formação de cicatrizes hipertróficas e até a metaplasia epitelial (Ackerman 2022).

Assim, o fenómeno de cicatrização e a resposta inflamatória constituem fenómenos dinâmicos, altamente regulados por múltiplos mediadores, vias de sinalização e interações célula-MEC. Esta compreensão integrada, tanto a nível molecular como imunocelular é essencial para desenvolver abordagens terapêuticas inovadoras capazes de modular a inflamação, acelerar a reparação tecidular e prevenir complicações fibróticas, promovendo uma medicina de precisão, cada vez mais ajustada às necessidades individuais de cada lesão e paciente.

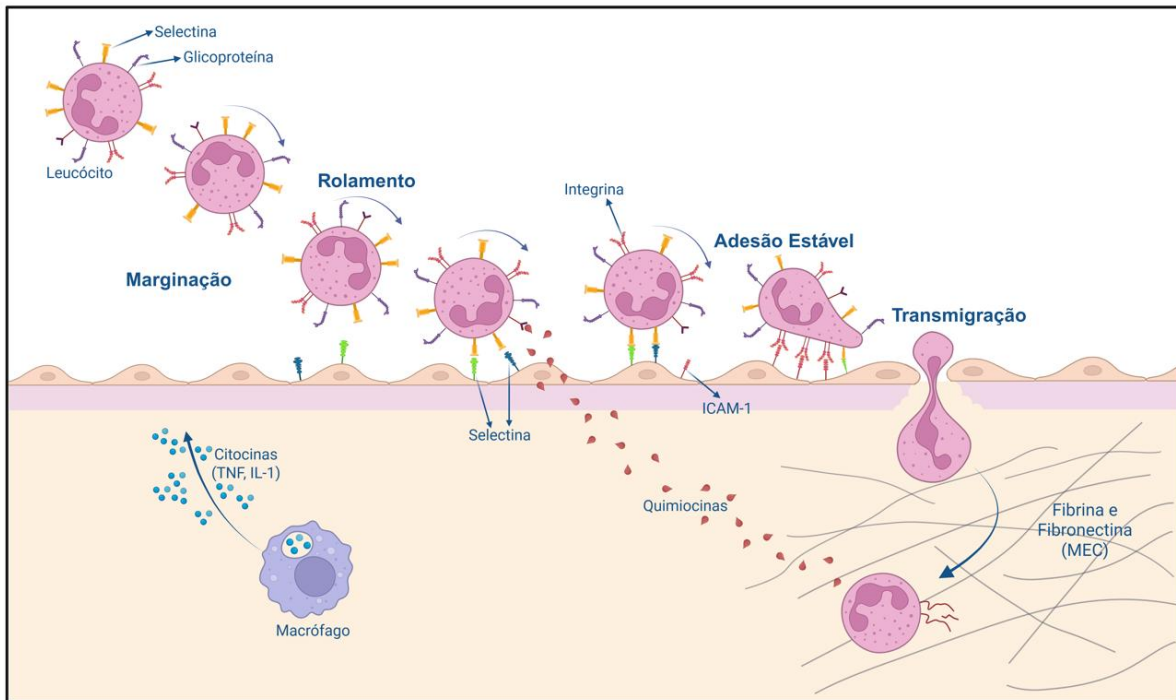


Figura 3 – Diagrama representativo da cascata de adesão leucocitária (criado com biorender.com).

As principais etapas da migração de neutrófilos através do endotélio vascular são: marginação: movimentação dos leucócitos da região central do lúmen vascular para a periferia do lúmen vascular, perto da superfície das células endoteliais devido à vasodilatação, diminuição da pressão hidrostática e do fluxo sanguíneo); rolamento: Mediado por selectinas, que estabelecem ligações transitórias com glicoproteínas, permitindo reduzir a velocidade dos leucócitos e aproximá-los do endotélio. Este contacto facilita a ativação de quimiocinas e citocinas que criam as condições adequadas para a Adesão Estável; adesão estável: os neutrófilos, ativados por citocinas, quimiocinas e mediadores inflamatórios, expõem as integrinas que se ligam firmemente à ICAM-1 no endotélio. Esta ligação forte permite o alinhamento dos neutrófilos nas junções endoteliais para avançarem para a transmigração; transmigração: Os neutrófilos firmemente aderidos atravessam o endotélio, movendo-se entre as células endoteliais das vénulas. Seguidamente, ligam-se à membrana basal e à MEC através de integrinas e deslocam-se no estroma por ação de gradientes quimiotáticos.

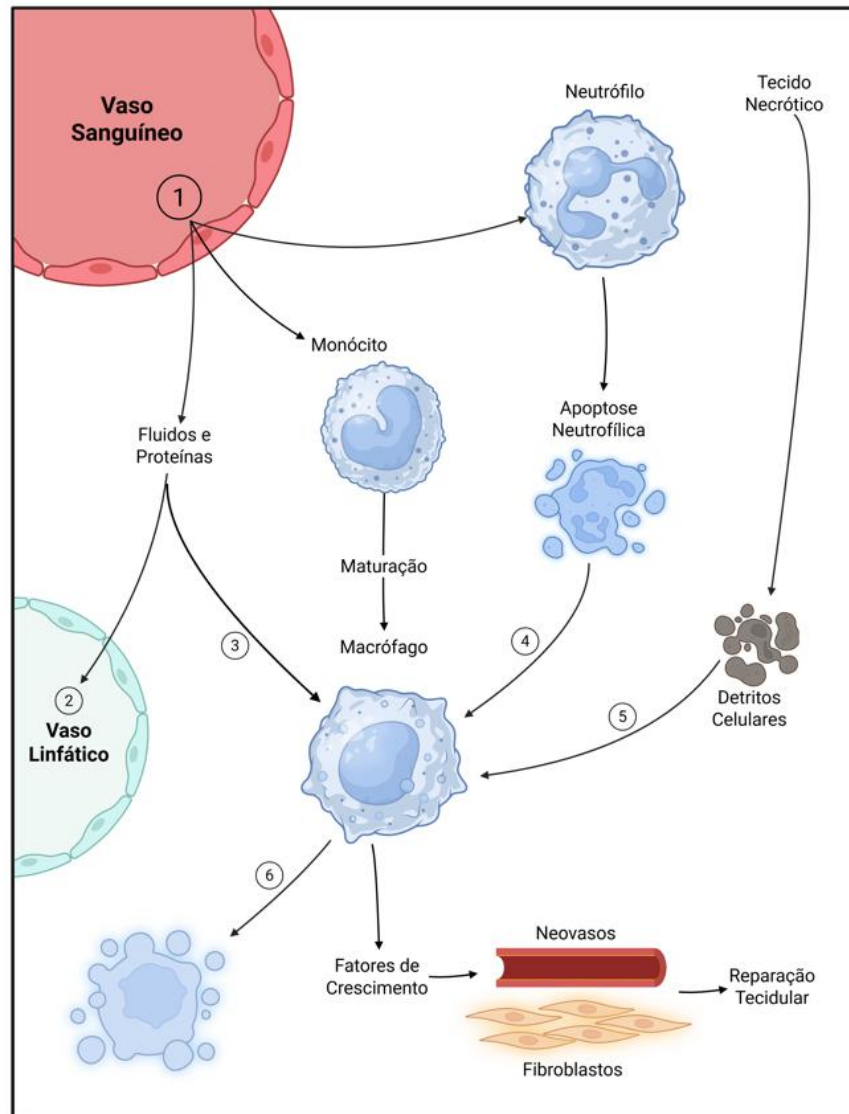


Figura 4 – Representação dos mecanismos que contribuem para a resolução da inflamação, remoção do exsudado inflamatório e transição para a fase de reparação tecidual.

1. Restabelecimento da permeabilidade vascular basal, impedindo o extravasamento de células e proteínas plasmáticas;
2. Drenagem do excesso de fluidos e proteínas plasmáticas acumuladas no interstício por via dos vasos linfáticos, contribuindo assim para a resolução do edema;
3. Drenagem adicional de fluido, proteínas plasmáticas e resíduos celulares através do mecanismo de pinocitose realizado pelos macrófagos, facilitando a limpeza local;
4. Os neutrófilos que desempenharem a sua função, sofrem apoptose e são fagocitados pelos macrófagos, evitando a liberação de enzimas e mediadores no meio extracelular;
5. Os macrófagos são também responsáveis pela remoção de detritos necróticos e células mortas, essenciais na prevenção da cronicidade da resposta inflamatória;
6. Após o desempenho macrofágico, ocorre a eliminação controlada dos próprios macrófagos ou a sua saída para os linfonodos. Além disso, estes macrófagos produzem fatores de crescimento e citocinas que estimulam o fenômeno de angiogénese, ativam os fibroblastos e estimulam a síntese de matriz extracelular, impulsionando a fase de cicatrização e remodelação tecidual. Esta sequência destaca o papel central dos macrófagos como elo entre a fase exsudativa e a reparação dos tecidos lesados.

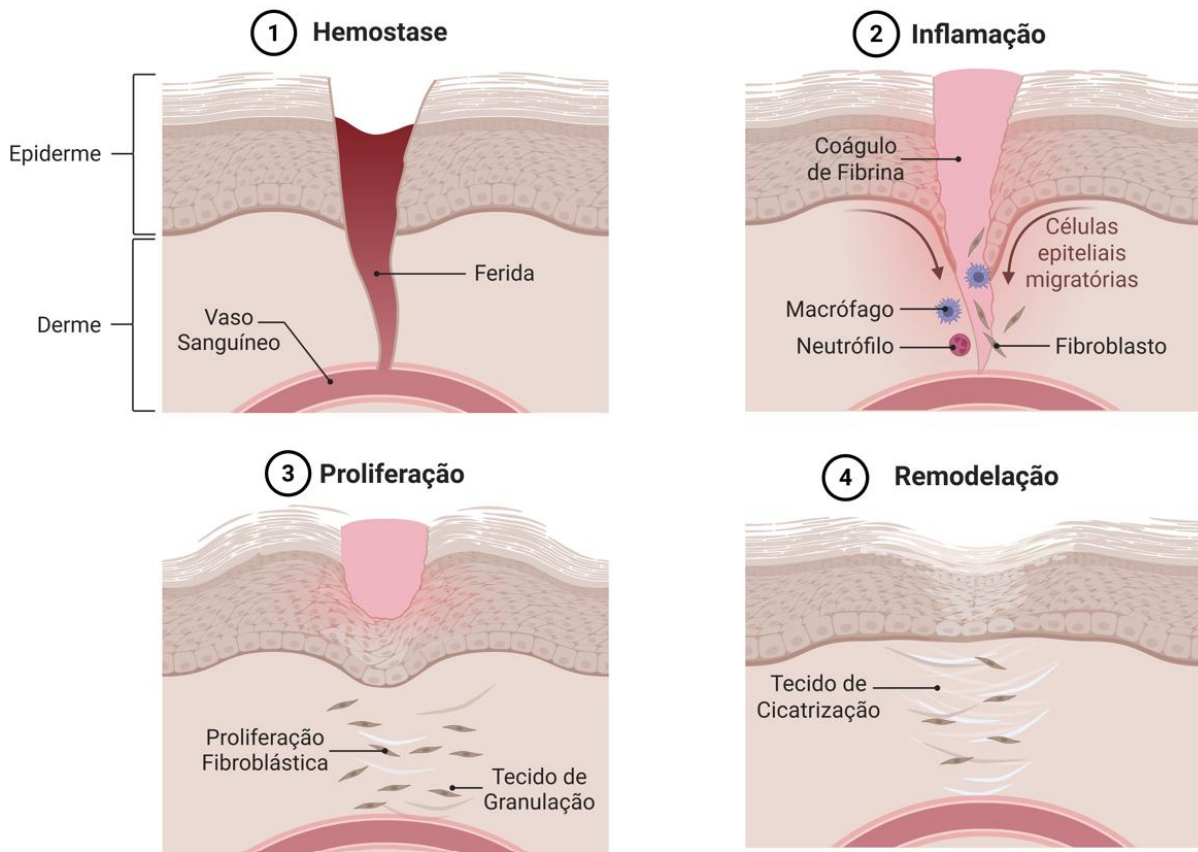


Figura 5 - Representação esquemática do processo de cicatrização por primeira intenção, evidenciando as principais fases histológicas (criado em biorender.com).

1: Após uma lesão da pele que envolve epiderme e derme, ocorre ruptura vascular e consequente hemorragia local;

2: Seguidamente, ocorre a formação de um coágulo de fibrina, que atua como matriz provisória, e infiltração de células inflamatórias responsáveis pela remoção de detritos celulares, microrganismos e/ou corpos estranhos;

3: É formado o tecido de granulação, graças à proliferação de fibroblastos, deposição de colágeno tipo III e ocorrência de fenômenos angiogênicos. Simultaneamente ocorre a migração e proliferação de queratinócitos para reepitelização da superfície;

4: Fase do processo de cicatrização marcada pela substituição gradual do colágeno tipo III por colágeno tipo I, reorganização das fibras de colágeno e aumento da resistência tênsil da ferida. Diminuição progressiva da neovascularização e regressão do tecido de granulação; No final, ocorre formação de tecido cicatricial estável, com epiderme reconstituída, organização dérmica parcialmente restaurada e presença de tecido fibroso residual mínimo.

3. O LASER (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação – LASER, *Light Amplification by Stimulated Emission*)

3.1. Contextualização histórica da luz LASER

O recurso à luz como técnica ou meio de terapia médica remonta a práticas antigas registadas nas culturas da Assíria, Índia, Inca, Budista, Grécia Antiga, Egito e Roma, onde o uso da helioterapia, ou seja, o uso da luz solar aplicada no tratamento de várias doenças. Ainda no início do século XX, o médico dinamarquês Niels Ryberg Finsen desenvolveu as bases científicas da fototerapia, ao demonstrar a eficácia da radiação solar no tratamento de doenças como o *Lupus vulgaris* e, em infeções por *Mycobacterium tuberculosis*. O seu trabalho foi premiado com o prémio nobel da fisiologia ou medicina em 1903 (Winkler and Miller 2025). Contudo, o desenvolvimento conceptual que permitiu o desenvolvimento dos LASERs, surge apenas em 1916, quando Albert Einstein estabeleceu os princípios teóricos da emissão estimulada de luz a partir da teoria de Max Planck (Einstein 1917). Em 1932, Valentim Fabrikant aprofundou alguns aspetos relativos à emissão estimulada de luz e, na década de 1950, Charles Townes, James Gordon e Herbert Zeiger criaram o primeiro aparelho de emissão de radiação estimulada por amplificação de microondas – MASER (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), assinalando a possibilidade de amplificar radiação luminosa de forma controlada (Gordon et al. 1954). Tal progresso possibilitou que, em 1960, Theodore H. Maiman construísse o primeiro LASER funcional a partir de um cristal de rubi, demonstrando que a emissão estimulada de radiação era capaz de gerar uma luz com propriedades únicas e que era coerente no que respeita aos comprimentos de onda óticos desejados (Maiman 1960).

Ainda na década de 1960, investigadores como Ali Javan desenvolveram o LASER de hélio-néon (He-Ne) que produzia um feixe contínuo de luz vermelha extremamente coerente. Em 1962, Robert N. Hall e Marshall Nathan apresentaram o primeiro LASER de diodo que recorre à emissão de luz coerente a partir de um díodo semiconductor de Arsenieto de Gálio (GaAs). Em 1964, Kumar Patel produziu o revolucionário LASER cirúrgico de CO₂, que ficou amplamente reconhecido pela afinidade que este apresenta pela água, assim como pela sua capacidade de combinar o corte e a coagulação na cirurgia de tecidos moles (Winkler and Miller 2025).

Na vertente terapêutica, em 1967, Endre Mester destaca-se por demonstrar que os lasers de baixa potência, frequentemente denominados de lasers frios, poderiam acelerar a regeneração de tecidos. Tais conhecimentos, constituem atualmente as bases fundamentais do conceito de fotobiomodulação ou LASER terapêutico de baixa potência (LLLT – *Low-level LASER therapy*). Na China, em 1984, Yo Cheng Zhou relatou a aplicação de lasers frios classe II na estimulação de determinados pontos anatómicos com o objetivo de induzir um efeito

anestésico suficientemente significativo para que permitisse a realização de exodontias sem recurso a anestesia química (Winkler and Miller 2025).

Ao longo do tempo, várias associações e sociedades científicas surgiram com o objetivo de estudar e promover as utilidades clínicas da tecnologia de laser. Em 1981, foi fundada a sociedade americana de medicina e cirurgia a LASER (ASLMS – *American Society for LASER Medicine and Surgery*) e, em 1994, ocorre a fusão da associação internacional de terapia a LASER (ILTA – *International LASER Therapy Association*) com a sociedade internacional para aplicações médicas de LASER (ISLAM – *International Society for Medical LASER Applications*) dando origem à associação mundial para a terapia fotomodeladora (WALT – *World Association for LASER Therapy*). Já em 1998, surge a associação norte-americana de terapia a LASER (NAALT – *North American Association for LASER Therapy*) e, em 2002, o uso de lasers terapêuticos classe III foi aprovado formalmente pela FDA (administração de alimentos e medicamentos, FDA – *Food and drug administration*), marco que permitiu o aumento da credibilidade da fotobiomodulação. Posteriormente, no ano de 2006, os lasers terapêuticos de classe IV, também denominados LASERs terapêuticos de alta potência (HPLT – *High-power LASER therapy*) com potências superiores a 500 mW foram aprovados, permitindo o acesso de maiores profundidades nos tecidos. Em 2017, a associação americana para o estudo do LASER (ALSC – *American LASER Study Club*), foi alvo de destaque, sobretudo pelo recurso ao LASER de CO₂ em cirurgia de tecidos moles (Winkler and Miller 2025).

Atualmente, o LASER é reconhecido como uma tecnologia multifacetada no domínio da medicina e da cirurgia. A emissão de um feixe de luz coerente, monocromática e colimada proporciona uma seletividade e precisão na interação com os tecidos, da mesma forma que, o controlo do comprimento de onda, potência e tempo de exposição permite adaptá-lo aos diversos objetivos clínicos. Em medicina humana e veterinária, os LASERs têm sido promissores na mais variadas vertentes como dermatologia, ortopedia, neurologia e, particularmente, no tratamento de feridas, ao combinar benefícios cirúrgicos com protocolos de fotobiomodulação que atuam na rapidez de cicatrização, redução de inflamação e alívio de dor, permitindo a recuperação mais célere do quadro clínico do doente (Chung et al. 2012; Redondo and Stephens 2019). Assim, a jornada histórica com início na helioterapia ancestral e fim na fotobiomodulação moderna evidencia a contínua evolução científico-tecnológica que transformou o LASER num alicerce terapêutico indispensável na melhoria do doente em medicina veterinária.

3.2. O Fenómeno de Produção

A produção do LASER baseia-se no fenómeno da emissão estimulada de radiação. Quando um átomo ou molécula é excitado para um estado energético superior, este pode regressar ao estado de energia inferior através da emissão espontânea de um fóton. Contudo, se o átomo/molécula excitado for estimulado por um fóton com uma energia específica, este pode emitir um segundo fóton com a mesma fase, frequência e direção que o fóton incidente. Este fenómeno é denominado emissão estimulada e constitui a base para a amplificação da luz na tecnologia do laser. A energia necessária para excitar os átomos ou moléculas pode ser fornecida através de uma descarga elétrica, lâmpada de flash ou até mesmo em outro LASER (Chung et al. 2012).

O dispositivo de LASER é constituído por um meio ativo, uma fonte de energia e uma cavidade ressonante. A cavidade ressonante é essencial para o processo de amplificação, dado que permite a passagem da luz pelo meio ativo inúmeras vezes, aumentando assim a intensidade do feixe de saída. A emissão de luz coerente e monocromática integra uma característica fundamental dos lasers, permitindo a sua aplicação em situações que exigem precisão e controlo (Boixeda et al. 2018). Assim, cada tipo de LASER possui propriedades únicas em termos de comprimento de onda, potência e penetração, o que permite uma escolha adequada a cada tipo de tratamento (Figura 7) (Winkler and Miller 2025).

3.3. O LASER Terapêutico Classe IV na promoção de Cicatrização

A integração do LASER terapêutico classe IV em protocolos terapêuticos médicos e cirúrgicos tem-se demonstrado como muito benéfica na aceleração do fenómeno de cicatrização de feridas. A fotobiomodulação é assim um mecanismo que ocorre quando os cromóforos celulares dos tecidos, absorvem a luz LASER e desencadeiam um conjunto de eventos metabólicos que promovem a regeneração tecidual tais como por exemplo, o aumento da produção de adenosina trifosfato (ATP), fundamental para a proliferação celular; a estimulação da síntese de colagénio essencial na reconstituição da MEC; a ativação de múltiplos fatores de crescimento, como o VEGF e o FGF, que impulsionam a angiogénese e regeneração tecidual (Kurach et al. 2015).

Um dos mecanismos celulares fundamentais na atuação do LASER classe IV consiste na interação da luz LASER com os sistemas mitocondriais da célula, onde o complexo citocromo oxidase C que atua na modulação do metabolismo celular, é estimulado como uma resposta ao stress oxidativo existente na célula doente (Figura 6). O complexo citocromo C oxidase é uma hemoproteína localizada na membrana interna mitocondrial e com a função importante de transporte de eletrões ao longo da cadeia respiratória e no equilíbrio entre a produção de ATP e a apoptose celular (Wilkinson and Hardman 2020). O feixe de luz laser, particularmente o infravermelho cujo comprimento de onda ronda 780-980 nm, é absorvido

pelos cromóforos intracelulares inclusivamente pelo sistema do citocromo C oxidase (COX), o qual integra o complexo IV da cadeia transportadora de eletrões (Figura 6). Esta estimulação mitocondrial induz um aumento da transferência de eletrões que intensifica a produção de ATP e otimiza a função celular dos tecidos lesionados (Chung et al. 2012). A ativação do COX desencadeia a libertação controlada das ROS, promovendo assim a migração e proliferação de fibroblastos, queratinócitos e células endoteliais, para além de facilitar a cicatrização dos tecidos e a vascularização da região afetada. Além disso, a modulação das ROS (espécies reativas de oxigénio) pelo LASER contribui para a diminuição da resposta inflamatória ao regularizar a expressão de citocinas, como o TNF- α e a IL-1 (Kurach et al. 2015).

Como é conhecido, o sistema da citocromo C oxidase intervém na regulação da apoptose celular. Em situações de stress oxidativo intenso ou lesões irreversíveis, a mitocôndria tem a possibilidade de libertar o citocromo C oxidase para o citoplasma através da enzima caspase-9, a qual ativa a via intrínseca da apoptose, que culmina na morte celular programada. Contudo, os estudos indicam que a aplicação do LASER terapêutico tem a capacidade de modular esta resposta, prevenindo a libertação citoplasmática excessiva do sistema da citocromo C oxidase, diminuindo assim os níveis de apoptose prematura de células crucias à recuperação dos tecidos lesionados (Wilkinson and Hardman 2020; Sorg and Sorg 2023). Esta capacidade do LASER em participar na homeostasia celular, perspetiva uma propriedade importantíssima de preservação da viabilidade dos fibroblastos e dos queratinócitos, de promoção de uma remodelação equilibrada e ainda, da diminuição da probabilidade de surgirem cicatrizes hipertróficas no final o desenvolvimento do processo e cicatrização.

Diversos estudos revelam que o uso do LASER terapêutico classe IV é benéfico em todas as etapas do processo de cicatrização (Capon and Mordon 2003; Kurach et al. 2015; Maltese et al. 2015; Boixeda et al. 2018; Choung et al. 2019; Özer and İnci 2024; Winkler and Miller 2025). Durante a fase inflamatória, o LASER melhora a perfusão sanguínea e a oxigenação tecidular, resultando numa diminuição da hipóxia regional e no aumento da estimulação imunitária à reconstituição tecidular. Com a modulação das ROS, e estimulação do sistema da citocromo C oxidase, a produção de citocinas inflamatórias diminui, traduzindo-se numa limitação da magnitude da resposta inflamatória e minimização de adicionais lesões celulares (Schreml et al. 2010). De igual modo, o LASER estimula a migração de macrófagos e neutrófilos, com vista em promover uma resposta imunitária eficaz e remoção dos detritos celulares e agentes patogénicos. Durante a fase proliferativa, a estimulação do COX provoca um aumento da produção de ATP, que sustenta a migração e proliferação de fibroblastos e dos queratinócitos. Além disso, o LASER estimula a síntese de colagénio tipo I e III, contribuindo desta forma para a formação de um tecido de granulação bem estruturado e resistente. Verifica-se também um aumento da expressão dos fatores VEGF e FGF, que são

como é sabido, determinantes na ocorrência da angiogénese por garantirem um aporte sanguíneo adequado ao tecido em regeneração (Davidson 2015). Já na fase de remodelação, o LASER contribui na reorganização das fibras de colagénio, dando origem a uma MEC mais funcional, organizada e resistente. A ação conjunta do sistema da citocromo C oxidase, das ROS e dos fatores de crescimento, favorece a remodelação do tecido recém-formado, permitindo uma cicatrização mais eficiente e esteticamente superior. Do mesmo modo, o LASER regula a expressão das MMPs, traduzindo-se numa limitação da degradação excessiva de MEC e prevenção de formação de cicatrizes atípicas (Isaac et al. 2010).

Além do seu efeito individual, o LASER terapêutico pode ser utilizado concomitantemente com outras terapêuticas regenerativas, como a aplicação de plasma rico em plaquetas (PRP) ou enxertos dérmicos cujo potencial tem-se revelado promissor na aceleração do processo cicatricial de feridas complexas e crónicas (Winkler and Miller 2025). A contínua investigação na fotobiomodulação tem permitido a evolução de diferentes tipos de protocolos terapêuticos de laser, utilizando diferentes comprimentos de onda e diferentes doses de energia, procurando a otimização dos resultados clínicos em múltiplas condições patológicas (Redondo and Stephens 2019).

Finalmente, o recurso ao LASER terapêutico classe IV na estimulação do fenómeno da cicatrização ilustra uma abordagem inovadora, com aplicações tanto em medicina veterinária como em medicina humana. A capacidade do LASER em modular os processos celulares e moleculares envolvidos na regeneração tecidual faz desta tecnologia uma pilar terapêutico de peso da medicina regenerativa moderna, proporcionando uma recuperação mais rápida e de melhor qualidade estrutural aproximando-se mais o tecido neoformado do original (Schreml et al. 2010).

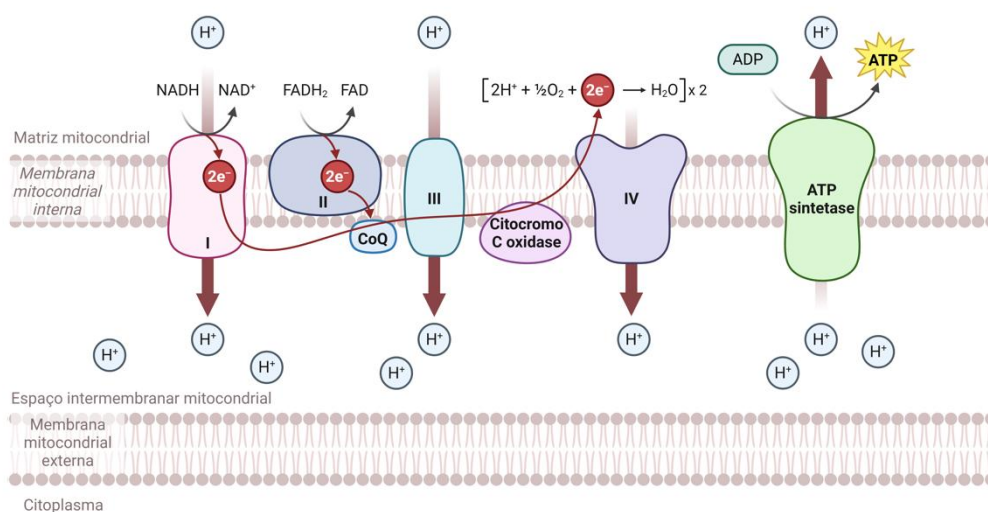


Figura 6 – Cadeia transportadora de elétrons (criado em biorender.com)

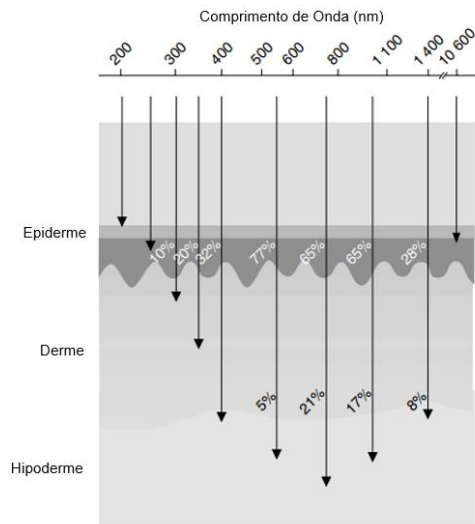


Figura 7 – Profundidade de captação da luz (%) na pele em diferentes comprimentos de onda (criado em biorender.com).

III. Estudo experimental

1. Objetivos

O presente trabalho de dissertação de mestrado integrado teve com principal objetivo avaliar o efeito clínico do LASER terapêutico classe IV no processo de cicatrização em incisões pós-cirúrgicas. Adicionalmente, considerou-se a influência das variáveis espécie, género, idade e condição corporal na resposta ao uso do referido LASER terapêutico classe IV.

2. Materiais e métodos

O presente estudo foi realizado numa amostra de 49 animais (N = 49), dos quais 25 pertenciam à espécie *Canis familiaris* (n=25) e 24 à espécie *Felis catus* (n=24). Ambos os géneros foram integrados na amostra do estudo (27 do género feminino, e 22 do género masculino), sendo consideradas elegíveis todas as raças de ambas as espécies.

Todos os animais participantes, eram doentes internos do centro de medicina veterinária anjos de Assis, submetidos a cirurgias das diferentes especialidades e sujeitos ao uso do LASER terapêutico classe IV foram considerados elegíveis.

Foram excluídos do estudo, todos os animais com o diagnóstico de doença oncológica ativa (em curso), ou com história clínica anterior de qualquer neoplasia ou síndrome paraneoplásico, mesmo que já considerados como curados. Adicionalmente, foram também excluídos todos os doentes em que existisse a impossibilidade de acompanhamento da evolução do processo de cicatrização ao longo do período de 8 dias.

Por forma a reduzir a variabilidade induzida por fatores extrínsecos aos doentes e, consequentemente, minimizar o viés nos resultados obtidos, o desenho experimental estudou

a avaliação intraindividual da evolução do processo de cicatrização da linha de sutura, considerando 3 pontos diferentes de avaliação: T0 – imediatamente ao final da cirurgia; T1 – 48 horas após a cirurgia; e T2 – 8 dias após a cirurgia.

Cada linha de sutura resultante da incisão cirúrgica realizada, foi dividida em dois segmentos: a metade cranial/ proximal da sutura foi sujeita à aplicação do feixe de LASER terapêutico classe IV – foi designada de zona CL, e a metade caudal/ distal da sutura, não foi sujeita ao uso do LASER terapêutico classe IV – designada de zona SL. A avaliação da linha de sutura em cada um dos momentos considerados (T0, T1, T2) permitiu acompanhar temporalmente a sequencia evolutiva do fenómeno de cicatrização em cada momento particular comparando as ocorrências entre as regiões CL e SL

Para cada doente foram registados os seguintes parâmetros: espécie, idade, condição corporal segundo a escala de Laflamme, peso vivo, assim como os parâmetros baseados na escala para avaliação do processo de cicatrização de feridas cirúrgicas de Vitor & Carreira (2015): temperatura, coloração, hematoma, fluídos regionais, elasticidade da pele e espessura da sutura (Anexos 1 e 2). Todas as avaliações e registos foram realizados consistentemente pelo mesmo investigador, com o objetivo de garantir a uniformidade na categorização dos parâmetros observados.

Quanto ao protocolo de LASER terapêutico classe IV utilizado, ele foi desenvolvido com um sistema de LASER de diodo, modelo *doctor vet therapy laser*, da LAMBDA®. O protocolo utilizado variava consoante a área incisional a ser irradiada pelo feixe de LASER, considerando-se assim três protocolos distintos (Tabela 1). Em cada protocolo foram utilizadas diferentes frequências (1, 2, 10 e 25 kHz), cada uma com um objetivo específico.

Tabela 1 – Protocolos terapêuticos utilizados na fotobiomodulação das incisões

Protocolos terapêuticos	Área incisional (cm ²)	Comprimento de onda (nm)	Duração	Potência (W)	Frequência (kHz)	Energia total (J)
Post-op S	5	660	25 seg	2	1	50
		808			2	
		915			10	
					25	
Post-op M	25	660	2 min 5 seg	2	1	250
		808			2	
		915			10	
					25	
Post-op L	50	660	4 min 10 seg	2	1	500
		808			2	
		915			10	
					25	

Todos os dados obtidos com o ensaio foram registados numa tabela de dados de Excel, e posteriormente analisados com recurso ao software IBM SPSS (statistical package for the social sciences), versão 29 para windows.

Na estatística descritiva, incluiu-se o cálculo de frequências, médias e respetivos desvios padrão. A normalidade de distribuição dos dados foi analisada com o teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variância com o teste de Levene.

Para a parte de estatística inferencial, utilizaram-se diferentes testes conforme a natureza das variáveis (qualitativas e quantitativas) e a distribuição dos dados (normalidade ou não): 1) ANOVA de medidas repetidas aplicada para avaliar as diferenças estatisticamente significativas ao longo dos diferentes momentos de avaliação dentro do mesmo grupo (dados pareados e com distribuição normal); 2) o teste-t de student para amostras independentes foi utilizado na comparação de médias entre dois grupos independentes, desde que os pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância estivessem assegurados; 3) o teste de Mann-Whitney foi aplicado como alternativa não paramétrica ao teste-t de student, em casos de distribuição não normal das variáveis; 4) o teste exato de Fisher foi utilizado para analisar associações entre variáveis categóricas com frequências reduzidas; e por fim 5) o teste de Cochran para analisar as variações em proporções de variáveis dicotómicas medidas repetidamente nos mesmos indivíduos.

As variáveis qualitativas foram transformadas em variáveis dummy, ou seja, foram convertidas em variáveis binárias (0 ou 1) para cada categoria, permitindo sua utilização em modelos estatísticos. Foi considerado como nível de significância para diferenças estatísticas todos os resultados para $p\text{-value}$ (significância) $\leq 0,05$.

As variáveis categóricas em cada parâmetro de avaliação foram apenas 2 de forma a simplificar a análise estatística. Assim, quanto à coloração da pele, todas as colorações diferentes da cor rosada fisiológica da pele, recaíam na categoria de outra coloração. No parâmetro da presença de hematomas, a categoria outros envolve todas as situações em que é identificado um ou mais hematomas não discretos na região independentemente da extensão ou gravidade do hematoma. Relativamente ao parâmetro temperatura regional, a escolha da opção outra incluiu todas as situações em que a temperatura esteja diferente à fisiológica, seja ela superior ou inferior. No que respeita à elasticidade da pele, a escolha da opção outra retrata todas as ocasiões em que a elasticidade da pele se diferenciava da normalidade. Finalmente, quanto à presença de fluidos, a escolha da categoria outra englobou todas as situações em que se identificou a presença de fluídos subcutâneos na região, independentemente da quantidade ou tipo de fluido presente.

O protocolo de utilização do LASER terapêutico classe IV no contexto cirúrgico foi aprovado pela comissão de ética para a investigação e ensino com a ref^a 015/2022. No

período pós-operatório imediato (T0), apenas foram incluídos no estudo após a assinatura de um termo de consentimento informado pelos respectivos detentores.

3. Resultados

3.1. Caracterização da amostra

A caracterização da amostra total e dos subgrupos (cão e gato) utilizada no presente estudo está descrita na Tabela 2, e foi constituída por 49 animais (N=49), dos quais 51% pertenciam à espécie *Canis familiaris* (n=25) e os restantes 49% à espécie *Felis catus* (n=24).

No total da amostra, 55,1% eram fêmeas, sendo que no que respeita ao estado fértil 67,3% eram esterilizados no total da amostra, 52% nos cães e 83,3% nos gatos. No que respeita à idade, a média foi de $\pm 4,30$ anos (mínimo de 8 meses e máximo de anos) na amostra total; de $6,82 \pm 4,64$ anos nos cães, e de $7,13 \pm 4,18$ anos nos gatos. Relativamente ao peso vivo, a média foi de $12,00 \pm 11,60$ kg (mínimo de 2,50 kg e máximo de 47 kg) na amostra total, $17,50 \pm 12,57$ kg nos cães e de $4,27 \pm 1,20$ kg nos gatos. A condição corporal mais frequentemente observada segundo a escala de *LaFlamme*, foi de 6 na amostra total (25,6%), nos cães (27,30%) e nos gatos (28,80%).

Tabela 2 – Caracterização da amostra total (N = 49) e dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente aos parâmetros de idade, peso vivo, género, condição corporal e estado reprodutivo.

PARÂMETROS		amostra (N)					
		total (N = 49)		cão (n = 25)		gato (n = 24)	
		\bar{X}	DP (%)	\bar{X}	DP (%)	\bar{X}	DP (%)
idade (anos)		6,90	4,30	6,82	4,64	7,13	4,18
peso (kg)		12,00	11,60	17,50	12,57	4,30	1,20
género		N	%	N	%	N	%
	fêmea	27	55,10	15	60,00	12	50
	macho	22	44,90	10	40,00	12	50
condição corporal	1	2	4,70	1	4,50	1	4,80
	2	4	9,30	2	9,10	2	9,50
	3	3	7,00	1	4,50	2	9,50
	4	7	16,30	5	22,70	2	9,50
	5	10	23,30	5	22,70	5	23,80
	6	11	25,60	6	27,30	5	23,80
	7	4	9,30	1	4,50	3	14,30
	8	2	4,70	1	4,50	1	4,80
estado reprodutivo	castrado	33	67,30	13	52,00	20	83,30
	inteiro	16	32,70	12	48,00	4	16,70

N - Amostra; n – Subamostra; \bar{X} – Média; DP - Desvio-Padrão; % - Percentagem.

No que respeita aos parâmetros avaliados com a escala para avaliação do processo de cicatrização de feridas cirúrgicas e Vitor & Carreira (2015) ao longo dos três momentos de avaliação considerados (T0 - imediatamente após a cirurgia; T1 - 48 horas após a cirurgia; T2 - 8 dias após a cirurgia), os valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização da amostra total (N = 49) e dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente aos parâmetros avaliados com a escala de cicatrização de feridas: espessura da pele, coloração da pele, presença de hematoma, temperatura regional, elasticidade da pele e presença de fluidos.

PARÂMETROS			total (N = 49)		cão (n = 25)		gato (n = 24)	
Variável quantitativa	Tempo de avaliação		\bar{X}	DP (%)	\bar{X}	DP (%)	\bar{X}	DP (%)
Espessura da pele (mm)	T0		2,93	1,16	2,92	1,22	2,92	1,11
	T1 SL		4,82	1,52	4,49	1,26	5,15	1,71
	T1 CL		2,91	0,74	2,75	0,52	3,07	0,89
	T2 SL		3,82	0,91	3,73	0,69	3,91	1,10
	T2 CL		2,38	0,72	2,38	0,76	2,36	0,68
Variável qualitativa	Tempo de avaliação	Normal / Alterada	N	%	N	%	N	%
Coloração da pele	T0	Cor Rosada	11	22,40	6	24,00	5	20,83
		Outra Cor	38	77,60	19	76,00	19	79,17
	T1SL	Cor Rosada	13	26,50	5	20,00	8	33,33
		Outra Cor	36	73,50	20	80,00	16	66,67
	T1CL	Cor Rosada	35	71,40	18	72,00	17	70,83
		Outra Cor	14	28,60	7	28,00	7	29,17
	T2SL	Cor Rosada	28	57,10	14	56,00	14	58,33
		Outra Cor	21	42,90	11	44,00	10	41,67
	T2CL	Cor Rosada	43	87,80	19	76,00	24	100,00
		Outra Cor	6	12,20	6	24,00	0	0,00
Presença de hematomas	T0	Discretos / Ausentes	11	22,45	6	24,00	5	20,83
		Outros	38	77,55	19	76,00	19	79,17
	T1SL	Discretos / Ausentes	13	26,53	5	20,00	8	33,33
		Outros	36	73,47	20	80,00	16	66,67
	T1CL	Discretos / Ausentes	34	69,39	19	76,00	15	62,50
		Outros	15	30,61	6	24,00	9	37,50
	T2SL	Discretos / Ausentes	39	79,59	18	72,00	21	87,50
		Outros	10	20,41	7	28,00	3	12,50
	T2CL	Discretos / Ausentes	47	95,92	24	96,00	23	95,83
		Outros	2	4,08	1	4,00	1	4,17
Temperatura regional	T0	Normal	11	22,45	6	24,00	5	20,83
		Outra	38	77,55	19	76,00	19	79,17
	T1SL	Normal	15	30,61	6	24,00	9	37,50
		Outra	34	69,39	19	76,00	15	62,50
	T1CL	Normal	35	71,43	21	84,00	14	58,33
		Outra	14	28,57	4	16,00	10	41,77
	T2SL	Normal	43	87,76	22	88,00	21	87,50
		Outra	6	12,24	3	12,00	3	12,50
	T2CL	Normal	48	97,96	25	100,00	23	95,83
		Outra	1	2,04	0	0,00	1	4,17
Elasticidade da pele	T0	Normal	11	22,45	6	24,00	5	20,83
		Outra	38	77,55	19	76,00	19	79,17
	T1SL	Normal	13	26,53	5	20,00	8	33,33
		Outra	36	73,47	20	80,00	16	66,67
	T1CL	Normal	33	67,35	19	76,00	14	58,33
		Outra	16	32,65	6	24,00	10	41,67
	T2SL	Normal	33	67,35	16	64,00	17	70,83
		Outra	16	32,65	9	36,00	7	29,17
	T2CL	Normal	44	89,80	21	84,00	23	95,83
		Outra	5	10,20	4	16,0	1	4,17
T0	Ausente	11	22,45	7	28,00	4	16,67	

Presença de fluidos		Outra	38	77,55	18	72,00	20	83,33
	T1SL	Ausente	14	28,57	5	20,00	9	37,50
		Outra	35	71,43	20	80,00	15	62,50
	T1CL	Ausente	37	75,51	22	88,00	15	62,50
		Outra	12	24,49	3	12,00	9	37,50
	T2SL	Ausente	22	44,90	12	48,00	10	41,67
		Outra	27	55,10	13	52,00	14	58,33
	T2CL	Ausente	48	97,96	25	100,00	23	95,83
		Outra	1	2,04	0	0,00	1	4,17

N - Amostra; **n** – Subamostra; \bar{X} – Média; **DP** - Desvio-Padrão; % - Percentagem; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.2. Estatística inferencial

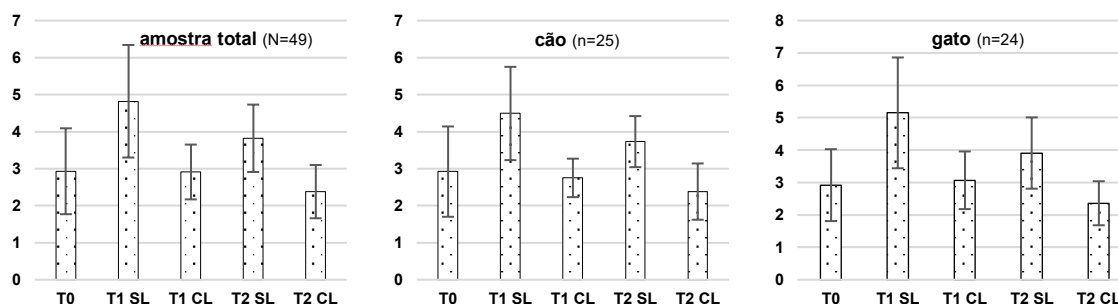
De modo a facilitar o estudo dos parâmetros avaliados com o ensaio, decidiu-se considerar o seu estudo individualizado para a amostra total, para o subgrupo de cão e para o subgrupo de gato.

3.2.1. Espessura da pele

Utilizando o teste de ANOVA de medidas repetidas, registaram-se diferenças estatisticamente significativas quanto à evolução da espessura da pele ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total ($N = 49$) ($F(4,192) = 80,008$; $p < 0,001$), para os cães ($F(4,21) = 17,756$; $p < 0,001$) e para os gatos ($F(4,20) = 37,707$; $p < 0,001$).

Com o teste de Cochran verificou-se que as diferenças significativas foram observadas entre todos os grupos na amostra total exceto entre: T0–T1 CL. As diferenças significativas foram observadas no cão entre: T0–T2 CL, T0–T2 SL, T1 SL–T1 CL, T1 CL–T2 SL e T2 SL–T2 CL; e no gato entre: T0–T1, T0–T2 SL, T1 SL–T1 CL, T2 SL–T2 CL, T1 CL–T2 CL, T1 CL–T2 SL e T2 SL–T2 CL (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Evolução da espessura da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



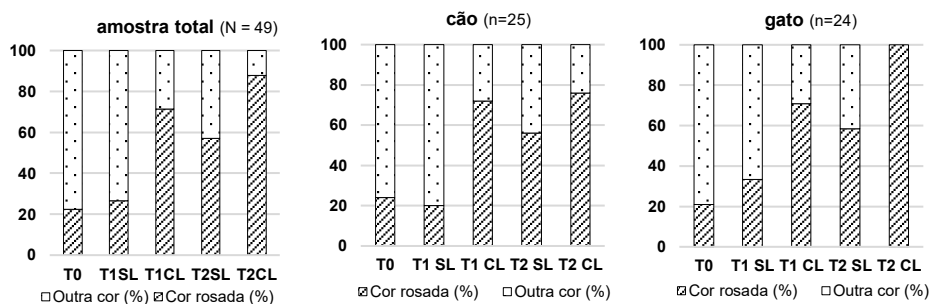
N – Amostra total; **n**= Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico Classe IV.

3.2.2. Coloração da pele

Utilizando o teste de Cochran, foi possível verificar diferenças estatisticamente significativas no que respeita à evolução da coloração da pele ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total ($N = 49$) ($X^2(4) = 59,535$; $p < 0,001$), para os cães ($X^2(4) = 26,646$; $p < 0,001$) e para os gatos ($X^2(4) = 35,188$; $p < 0,001$).

As diferenças significativas foram observadas entre todos os grupos na amostra total exceto entre: T0–T1 SL, T1 CL–T2 SL e T1 CL–T2 SL. As diferenças significativas foram observadas no cão entre: T2 CL–T2 SL, T2 CL–T0, T2 CL–T1 SL, T1 CL–T0 e T1 SL–T1 CL; e no gato entre: T2 CL–T2 SL, T2 CL–T1 SL, T2 CL–T0 e T1 CL–T0 (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Evolução do parâmetro qualitativo da coloração da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



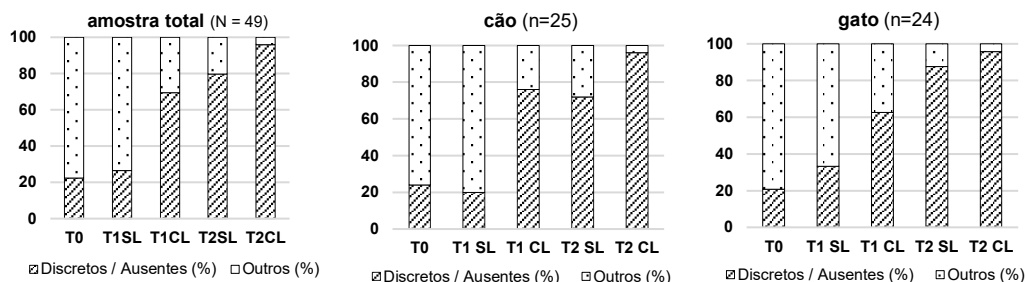
N – Amostra total; **n** – Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico

3.2.3. Presença de hematomas

Utilizado o teste de Cochran, foi possível verificar diferenças estatisticamente significativas na presença de hematomas ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total ($N = 49$) ($X^2(4) = 77,353$, $p < 0,001$), para os cães ($X^2(4) = 41,941$, $p < 0,001$) e para os gatos ($X^2(4) = 38,038$; $p < 0,001$).

As diferenças significativas foram observadas entre os seguintes grupos na amostra total entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T0–T2 SL, T1 SL–T1 CL, T1 SL–T2 CL e T1–T2 SL; no cão entre: T0–T1 CL, T2 SL–T2 CL e T1 SL–T1 CL; e no gato entre: T0–T2 SL, T0–T2 CL, T1 SL–T2 SL e T1 SL–T2 CL (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à presença de hematomas na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



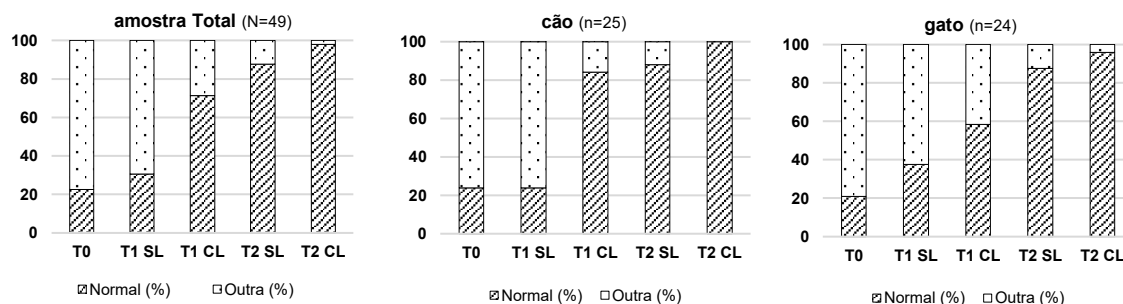
N – Amostra; **n**= Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.2.4. Temperatura regional

Utilizado o teste de Cochran, foi possível verificar diferenças estatisticamente significativas na evolução da temperatura regional ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total (N = 49) ($X^2(4) = 86,188, p < 0,001$), para os cães ($X^2(4) = 53,438, p < 0,001$) e para os gatos ($X^2(4) = 36,750; p < 0,001$).

As diferenças significativas foram observadas entre os seguintes grupos na amostra total entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T0–T2 SL, T1 SL–T1 CL, T1 SL–T2 CL, T1SL–T2SL; no cão entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T0–T2 SL, T1 SL–T1 CL, T2 SL–T2 CL; e no gato entre: T0–T2 SL, T0–T2 CL, T1 SL–T2 SL, e T1SL–T2CL (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à temperatura regional na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



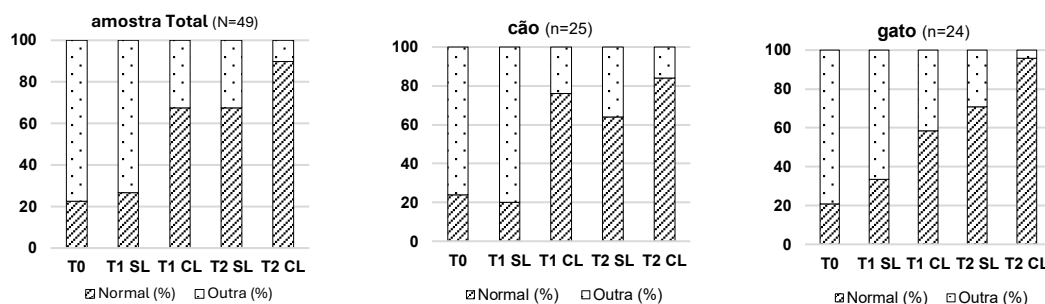
N – Amostra; **n**= Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.2.5. Elasticidade da pele

Utilizado o teste de Cochran, foi possível verificar diferenças estatisticamente significativas na evolução da elasticidade da pele ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total ($N = 49$) ($X^2(4) = 32,046$, $p < 0,001$), para os cães ($X^2(4) = 34,031$, $p < 0,001$) e para os gatos ($X^2(4) = 31,091$; $p < 0,001$).

As diferenças significativas foram observadas entre os seguintes grupos na amostra total entre T0–T1 CL, T0–T2 CL, T0–T2SL, T1 SL–T1 CL, T1 SL–T2 CL, e T1 SL–T2 SL; no cão entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T1 SL–T1 CL, T2 SL–T2 CL; e no gato entre: T0–T2 SL, T0–T2 CL, T1 SL–T2 CL (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à elasticidade da pele na amostra total (N = 49), no cão (n = 25) e no gato (n = 24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



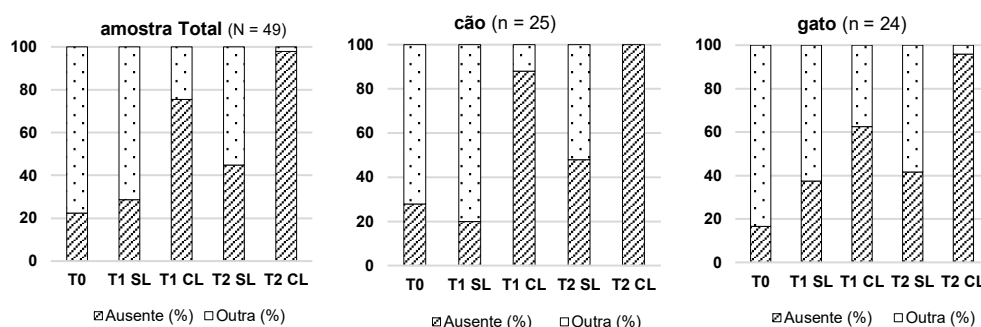
N – Amostra; **n** – Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.2.6. Presença de fluídos

Utilizado o teste de Cochran, foi possível verificar diferenças estatisticamente significativas na evolução da presença de fluídos ao longo dos diferentes momentos de avaliação para a amostra total ($N = 49$) ($X^2(4) = 73,508$, $p < 0,001$), para os cães ($X^2(4) = 46,338$, $p < 0,001$) e para os gatos ($X^2(4) = 29,684$; $p < 0,001$).

As diferenças significativas foram observadas entre os seguintes grupos na amostra total entre T0–T1 CL, T0–T2 CL, T1 SL–T1 CL, T1 SL–T2 CL, e T2 SL–T2 CL; no cão entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T1 SL–T1 CL, T2 SL–T2 CL; e no gato entre: T0–T1 CL, T0–T2 CL, T2 SL–T2 CL, e T1 SL–T1 CL (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Evolução do parâmetro qualitativo relativo à presença de fluidos subcutâneos na amostra total (N = 49), no cão (n=25) e no gato (n=24) durante os diferentes momentos de avaliação (T0, T1, T2), e considerando a região sujeita a uso de LASER (CL) e sem LASER (SL).



N – Amostra; **n** – Subamostra; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3. Comparação interespécies (cão vs gato)

3.3.1. Espessura da pele

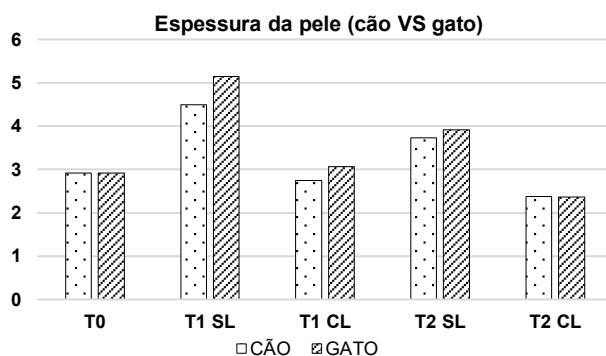
As diferenças na espessura entre cão e gato não foram estatisticamente significativas, $p > 0,05$ (Tabela 4; Gráfico 9).

Tabela 4 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: espessura da pele

Espessura da pele	cão (n = 25)		gato (n = 24)		p-value
	\bar{X}	DP (%)	\bar{X}	DP (%)	
T0	2,92	1,22	2,92	1,11	0,841
T1 SL	4,49	1,26	5,15	1,71	0,130
T1 CL	2,75	0,52	3,07	0,89	0,254
T2 SL	3,73	0,69	3,91	1,10	0,803
T2 CL	2,38	0,76	2,36	0,68	0,810

\bar{X} – Média; **DP (%)** – Desvio padrão; **p-value** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 9 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: espessura da pele.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3.2. Coloração da pele

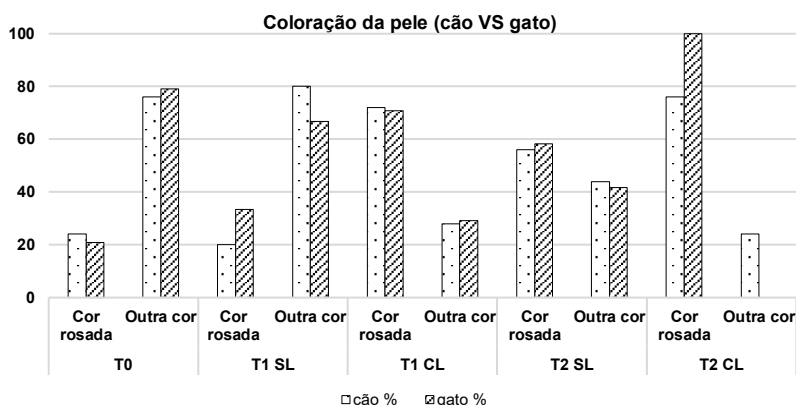
Utilizando o teste de Fisher, foi possível verificar que apenas no grupo T2 CL, a proporção de gatos com a incisão de cor rosada foi significativamente superior à dos cães ($p = 0,022$) (Tabela 5; Gráfico 10).

Tabela 5 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: coloração da pele.

Coloração da pele		cão (n = 25)		gato (n = 24)		p-value
		N	%	N	%	
T0	Cor rosada	6	24,00	5	20,83	1,000
	Outra cor	19	76,00	19	79,17	
T1 SL	Cor rosada	5	20,00	8	33,33	3,450
	Outra cor	20	80,00	16	66,67	
T1 CL	Cor rosada	18	72,00	17	70,83	1,000
	Outra cor	7	28,00	7	29,17	
T2 SL	Cor rosada	14	56,00	14	58,33	1,000
	Outra cor	11	44,00	10	41,67	
T2 CL	Cor rosada	19	76,00	24	100,00	0,022
	Outra	6	24,00	0	0,00	

N – Amostra; **%** – Percentagem; **p-value** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 10 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: coloração da pele.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3.3. Presença de hematomas

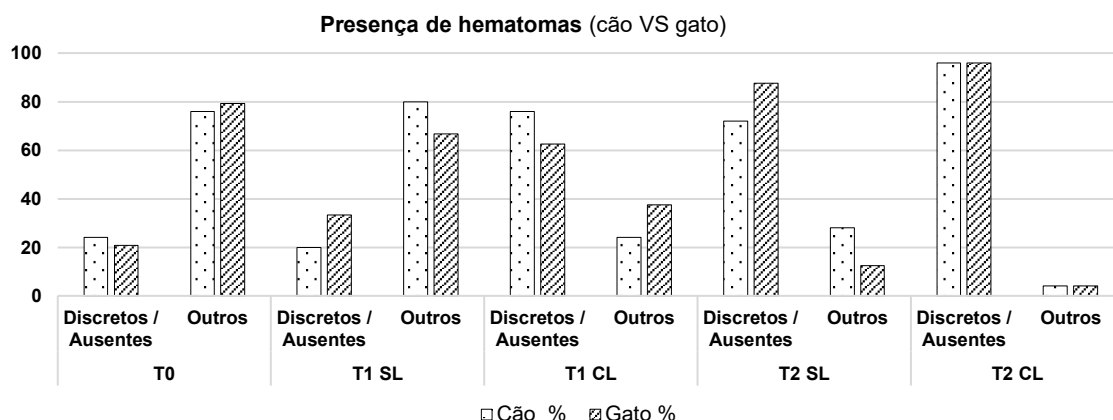
As diferenças no parâmetro qualitativo relativo à presença de hematomas entre os cães e os gatos não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$) (Tabela 6; Gráfico 11).

Tabela 6 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de hematomas.

Presença de hematomas	cão (n = 25)		gato (n = 24)		p-value	
	N	%	N	%		
T0	Discretos / Ausentes	6	24,00	5	20,83	1,000
	Outros	19	76,00	19	79,17	
T1 SL	Discretos / Ausentes	5	20,00	8	33,33	3,450
	Outros	20	80,00	16	66,67	
T1 CL	Discretos / Ausentes	19	76,00	15	62,50	0,364
	Outros	6	24,00	7	37,50	
T2 SL	Discretos / Ausentes	18	72,00	14	87,50	0,289
	Outros	7	28,00	10	12,5	
T2 CL	Discretos / Ausentes	24	96,00	24	95,83	1,000
	Outros	1	4,00	0	4,17	

N – Amostra; **%** – Percentagem; **p-value** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 11 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de hematomas.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3.4. Temperatura regional

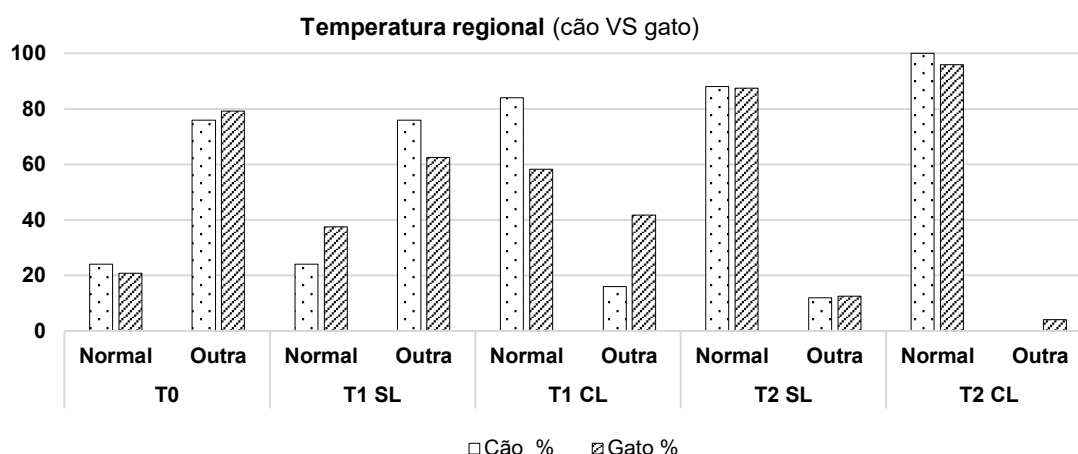
Não foram estatisticamente significativas as diferenças de temperatura regional entre os gatos e os cães ($p > 0,05$) (Tabela 7; Gráfico 12).

Tabela 7 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: temperatura regional.

Temperatura regional		cão (n = 25)		gato (n = 24)		p-value
		N	%	N	%	
T0	Normal	6	24,00	5	20,83	1,000
	Outra	19	76,00	19	79,17	
T1 SL	Normal	6	24,00	9	37,50	0,364
	Outra	19	76,00	15	62,50	
T1 CL	Normal	21	84,00	14	58,33	0,062
	Outra	4	16,00	10	41,77	
T2 SL	Normal	22	88,00	21	87,50	1,000
	Outra	3	12,00	3	12,50	
T2 CL	Normal	25	100,00	23	95,83	0,490
	Outra	0	0,00	1	4,17	

N – Amostra; **%** – Percentagem; **p-value** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 12 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: temperatura regional.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3.5. Elasticidade da pele

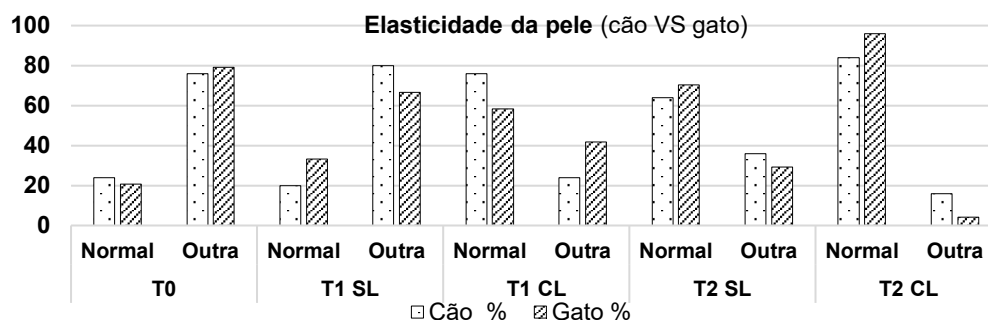
Não foram registadas diferenças estatisticamente significativas face à elasticidade da pele entre os gatos e os cães ($p > 0,05$) (Tabela 8; Gráfico 13).

Tabela 8 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: elasticidade da pele.

Elasticidade da pele		cão (n = 25)		gato (n = 24)		<i>p-value</i>
		N	%	N	%	
T0	Normal	6	24,00	5	20,83	1,000
	Outra	19	76,00	19	79,17	
T1 SL	Normal	5	20,00	8	33,33	0,345
	Outra	20	80,00	16	66,67	
T1 CL	Normal	19	76,00	14	58,33	0,232
	Outra	6	24,00	10	41,67	
T2 SL	Normal	16	64,00	17	70,33	0,762
	Outra	9	36,00	7	29,17	
T2 CL	Normal	21	84,00	23	95,83	0,349
	Outra	4	16,00	1	4,17	

N – Amostra; **%** – Percentagem; ***p-value*** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 13 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro avaliado: elasticidade da pele.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.3.6. Presença de fluídos

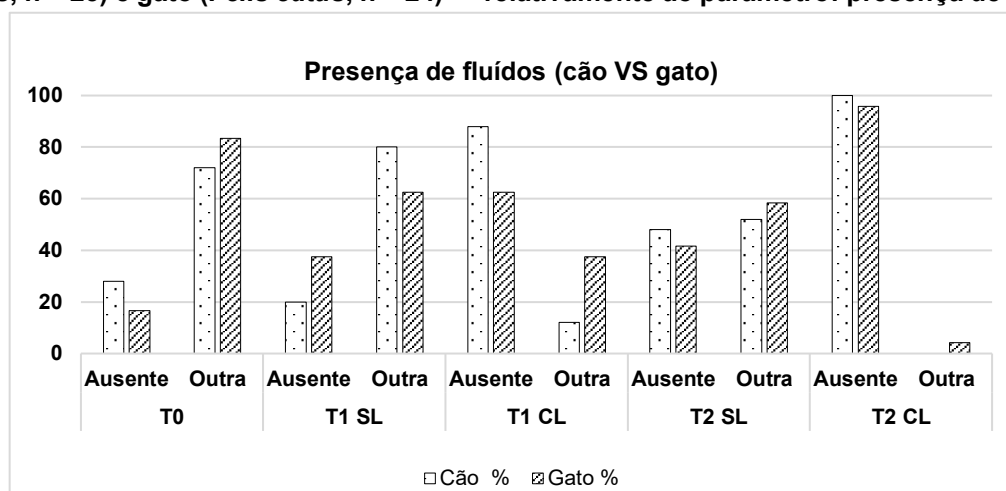
Não foram registadas diferenças estatisticamente significativas quanto à presença de fluídos entre os gatos e os cães ($p > 0,05$) (Tabela 9; Gráfico 14).

Tabela 9 - Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de fluídos.

Presença de fluídos	cão (n = 25)		gato (n = 24)		<i>p-value</i>	
	N	%	N	%		
T0	Ausente	7	28,00	4	16,67	0,729
	Outra	18	72,00	20	83,33	
T1 SL	Ausente	5	20,00	9	37,50	0,217
	Outra	20	80,00	15	62,50	
T1 CL	Ausente	22	88,00	15	62,50	0,051
	Outra	3	12,00	9	37,50	
T2 SL	Ausente	12	48,00	10	41,67	0,776
	Outra	13	52,00	14	58,33	
T2 CL	Ausente	25	100,00	23	95,83	0,490
	Outra	0	0,00	1	4,17	

N – Amostra; **%** – Percentagem; ***p-value*** – Significância; **T0** - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

Gráfico 14 – Comparação dos dois grupos de espécies considerados no estudo — cão (*Canis familiaris*, n = 25) e gato (*Felis catus*, n = 24) — relativamente ao parâmetro: presença de fluidos.



T0 - imediatamente após a cirurgia; **T1 SL** - 48 horas após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T1 CL** - 48 horas após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico; **T2 SL** - 8 dias após a cirurgia sem aplicação do LASER terapêutico; **T2 CL** - 8 dias após a cirurgia com aplicação do LASER terapêutico.

3.4. Influência dos fatores idade, género e condição corporal nos parâmetros avaliados com a escala de cicatrização na amostra total

3.4.1. Espessura da pele

A variação da espessura da epiderme não foi significativamente explicada pelas variáveis género, condição corporal e idade, tanto no modelo sem uso de LASER (SL) ($R^2 = 0,037$; $F(3, 39) = 1,54$; $p = 0,221$), como no modelo com LASER (CL) ($R^2 = 0,013$; $F(3, 39) = 0,82$; $p = 0,492$) (Tabela 10).

Tabela 10 – Coeficientes estatísticos que ilustram a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: espessura da pele.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	β	t	p-value
SL género	-0,543	0,284	-0,291	-1,912	0,063
SL condição corporal	0,091	0,084	0,169	1,080	0,287
SL idade	-0,010	0,036	-0,045	-0,237	0,776
CL género	-0,195	0,235	-0,130	-0,830	0,412
CL condição corporal	0,095	0,069	0,220	1,367	0,179
CL idade	-0,014	0,030	-0,072	-0,451	0,655

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **β** - Coeficiente Padronizado; **t** - Valor t, $t = B/DP$; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser.

3.4.2. Coloração da pele

No que respeita à coloração da pele o estudo da área sem LASER (SL), o modelo de regressão logística foi estatisticamente significativo, $X^2(3) = 10,46$, $p = 0,015$, com bom ajustamento aos dados ($X^2(8) = 9,29$, $p = 0,319$), explicando assim a variância da coloração

entre 21,6% e 29,1%. O gênero foi o único preditor significativo ($B = 1,764$, $p = 0,014$), indicando maior probabilidade de obtenção da coloração rosa-pálido no gênero feminino. Relativamente à área Com LASER (CL), o modelo não foi estatisticamente significativo, $X^2(3) = 1,18$, $p = 0,759$, em nenhuma das variáveis independentes (gênero, condição corporal e idade) (Tabela 11).

Tabela 11 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, gênero e condição corporal têm no parâmetro: coloração da pele.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	Wald	df	p-value
gênero	1,764	0,719	6,024	1	0,014
SL condição corporal	0,367	0,222	2,864	1	0,091
idade	0,016	0,089	0,031	1	0,859
gênero	0,600	0,985	0,371	1	0,543
CL condição corporal	-0,114	0,298	0,147	1	0,701
idade	-0,091	0,124	0,541	1	0,462

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **Wald** – Estatística de Teste, B^2 / DP^2 ; **df** – Graus de Liberdade; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser.

3.4.3. Presença de hematomas

Considerando a presença ou não de hematomas na região sujeita ou não ao uso do laser, e a sua correlação com os parâmetros gênero, condição corporal e idade, o modelo logístico foi para a área SL significativo, $X^2(3) = 8,27$, $p = 0,041$, explicando entre 17.5% e 26.4% da variância. O modelo foi bem ajustado ($p = 0,512$) e a condição corporal foi uma preditor significativo ($B = 0,570$, $p = 0,025$), com maior probabilidade de hematomas discretos ou ausentes em indivíduos com pior condição corporal. Quanto à área CL, o modelo não foi significativo com nenhum dos parâmetros considerados, $X^2(3) = 2,80$, $p = 0,424$ (Tabela 12).

Tabela 12 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, gênero e condição corporal têm no parâmetro: presença de hematomas.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	Wald	df	p-value
gênero	-1,421	0,881	2,601	1	0,107
SL condição corporal	0,570	0,254	5,053	1	0,025
idade	0,001	0,106	0,000	1	0,993
gênero	-18,911	876,77	0,000	1	0,998
CL condição corporal	-0,040	0,477	0,007	1	0,933
idade	0,032	0,210	0,023	1	0,880

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **Wald** – Estatística de Teste, B^2 / DP^2 ; **df** – Graus de Liberdade; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser.

3.4.4. Temperatura regional

Considerando a temperatura da região e a sua correlação com os parâmetros gênero, condição corporal e idade, o modelo de regressão logística não foi significativo, nem para a área SL $X^2(3) = 3,22$, $p = 0,359$, nem para a área CL $X^2(3) = 1,91$, $p = 0,590$ (Tabela 13).

Tabela 13 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, gênero e condição corporal têm no parâmetro: temperatura regional.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	Wald	df	p-value
SL gênero	0,417	1,012	0,170	1	0,680
SL condição corporal	0,475	0,291	2,673	1	0,102
SL idade	-0,083	0,128	0,419	1	0,518
CL gênero	-17,966	842,61	0,000	1	0,998
CL condição corporal	-0,372	0,766	0,236	1	0,627
CL idade	-0,094	0,302	0,098	1	0,754

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **Wald** – Estatística de Teste, B^2 / DP^2 ; **df** – Graus de Liberdade; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser.

3.4.5. Elasticidade da pele

Considerando a elasticidade da pele e a sua correlação com os parâmetros gênero, condição corporal e idade, o modelo de regressão logística não foi significativo nem na área SL, $X^2(3) = 5,25$, $p = 0,154$, nem na área CL, $X^2(3) = 2,15$, $p = 0,154$, para os mesmos parâmetros (Tabela 14).

Tabela 14 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, gênero e condição corporal têm no parâmetro: elasticidade da pele.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	Wald	df	p-value
SL gênero	1,148	0,693	2,749	1	0,097
SL condição corporal	0,279	0,204	1,868	1	0,172
SL idade	-0,076	0,087	0,766	1	0,381
CL gênero	0,011	1,085	0,000	1	0,992
CL condição corporal	0,304	0,311	0,959	1	0,327
CL idade	-0,186	0,151	1,522	1	0,217

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **Wald** – Estatística de Teste, B^2 / DP^2 ; **df** – Graus de Liberdade; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser

3.4.6. Presença de fluídos

Considerando a presença ou não de fluídos na região intervencionada e a sua correlação com os parâmetros gênero, condição corporal e idade, o modelo de regressão logística não é estatisticamente significativo, nem na área SL, $X^2(3) = 0,605$, $p = 0,895$, nem na área CL, $X^2(3) = 1,499$, $p = 0,123$ (Tabela 15).

Tabela 15 – Regressão logística estatística que ilustra a influência que os fatores idade, género e condição corporal têm no parâmetro: presença de fluídos.

Parâmetros/coeficientes	B	DP	Wald	df	p-value
género	0,076	0,631	0,014	1	0,904
SL condição corporal	0,127	0,190	0,448	1	0,503
idade	0,013	0,081	0,025	1	0,874
género	-158,385	8035,632	0,000	1	0,984
CL condição corporal	-62,211	2736,186	0,001	1	0,982
idade	34,456	1502,705	0,001	1	0,982

B - Coeficiente Não Padronizado; **DP** - Desvio Padrão; **Wald** – Estatística de Teste, B^2 / DP^2 ; **df** – Graus de Liberdade; **p-value** - Significância; **SL** - Área Sem Laser; **CL** - Área Com Laser

4. Discussão

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos clínicos da aplicação do LASER terapêutico classe IV no processo de cicatrização de feridas pós-cirúrgicas em cão e gato. A amostra foi constituída por 49 animais de diferentes idades, géneros, pesos, condições corporais, permitindo uma análise abrangente dos efeitos clínicos da fotobiomodulação.

O delineamento experimental adotado neste estudo considerou cada animal como sendo a sua própria unidade experimental e de controlo. Assim, a ferida cirúrgica (incisão) foi dividida em duas zonas anatómicas distintas: uma submetida à aplicação de LASER terapêutico de classe IV (CL) e a outra não recebeu qualquer tipo de fototerapia (SL). Esta abordagem intraindividual permitiu isolar a variável independente – utilização do LASER – assegurando que todas as restantes variáveis, tanto intrínsecas quanto extrínsecas ao indivíduo, se mantivessem constantes. Este modelo experimental aumenta substancialmente o controlo das variáveis de confusão, diminuindo assim o viés dos resultados obtidos, conferindo uma maior validade interna do estudo e uma maior robustez estatística dos resultados aquando das comparações efetuadas entre os segmentos irradiados e não irradiados da mesma incisão. Este modelo utilizado está em concordância com vários estudos científicos que defendem o uso experimental intraindividual – como o modelo de *split-wound*, é um modelo de excelência para avaliar os efeitos de um determinado parâmetro sobre o doente (Enwemeka et al. 2004; Maltese et al. 2015; Choung et al. 2019; Özer and İnci 2024).

Durante os protocolos terapêuticos, o dispositivo de LASER classe IV emitiu várias frequências. A frequência utilizada foi em modo contínuo (CW), correspondendo à emissão de uma onda contínua cuja finalidade principal foi a promoção da circulação vascular regional. É recomendado que o feixe do LASER percorra no mínimo duas vezes em cada ponto da área a ser tratada. A frequência de 1 kHz, corresponde a uma frequência média onde se pretende promover a epitelização; a frequência de 2 kHz corresponde a uma frequência média cujo objetivo se foca na estimulação fibroblástica; a frequência de 10 kHz corresponde a uma frequência alta cujo objetivo é a redução da infeção; e por fim, a frequência de 25 kHz,

corresponde à frequência mais alta em que se pretende um efeito antimicrobiano (Redondo and Stephens 2019; Winkler and Miller 2025).

A espessura da pele diminuiu significativamente nas áreas tratadas com LASER terapêutico de classe IV (CL) em todas as comparações temporais realizadas, refletindo não apenas uma menor intensidade da resposta inflamatória local, mas também uma menor densidade da matriz extracelular (MEC). Durante a fase inflamatória da cicatrização, ocorre uma vasodilatação que é acompanhada de um aumento da permeabilidade vascular, facilitando assim a infiltração de neutrófilos e, subsequentemente, de macrófagos e linfócitos nos tecidos lesionados. Este processo é ainda acompanhado pelo extravasamento de proteínas plasmáticas para o interstício, precisamente na região onde se verificou a lesão tecidual que desencadeou a inflamação. O infiltrado celular, juntamente com a acumulação de fluidos, contribui para o aumento da espessura cutânea observada na fase inicial da cicatrização. Com a progressão do processo inflamatório, inicia-se uma segunda fase denominada de fase proliferativa, a qual se caracteriza pela fagocitose dos detritos celulares e pela substituição do infiltrado inflamatório por tecido de granulação, rico em fibroblastos e colagénio. Assim, é provável que o uso do LASER terapêutico classe IV acelerou a transição da fase exsudativa para a celular através da modulação da expressão de citocinas, como o TNF- α e IL-1 β , e pela promoção da produção de mediadores anti-inflamatórios como a IL-10 (Wilkinson and Hardman 2020). Adicionalmente, existe a forte possibilidade de o LASER ter estimulado a atividade do sistema da citocromo C oxidase presente na cadeia respiratória mitocondrial, promovendo o aumento da produção de ATP e da atividade metabólica celular. Desta forma, é possível que este efeito bioestimulante tenha potenciado a proliferação de fibroblastos, a síntese de uma MEC rica em colagénio tipo III e a diferenciação de fibroblastos em miofibroblastos, potenciando assim a contração da ferida e início de remodelação tecidual (Davidson 2015). Estes mecanismos são regulados por fatores de crescimento como o TGF- β e FGF, cuja expressividade parece aumentar significativamente em resposta à irradiação com o LASER. Assim, a redução da espessura cutânea nas zonas tratadas com o LASER pode ser interpretada como um marcador de progressão rápida e eficiente do processo cicatricial.

De acordo com os resultados estatísticos obtidos no presente estudo, não foram identificadas diferenças significativas na espessura cutânea entre espécies, nem entre diferentes faixas etárias ou géneros. Esta homogeneidade de resposta sugere que o LASER é capaz de modular de forma consistente os mecanismos celulares envolvidos na cicatrização, independentemente do perfil fisiológico do indivíduo. No que respeita ao género, sabe-se que as fêmeas apresentam concentrações mais elevadas de estrogénios, hormonas que favorecem a espessura epidérmica, a vascularização e a síntese de colagénio, criando um ambiente mais propício à regeneração tecidual. Os estrogénios estimulam a proliferação

de queratinócitos e fibroblastos, além de promoverem a deposição de colagénio tipo I na MEC. Por outro lado, os androgénios tendem a exercer um efeito antagónico, reduzindo a síntese de colagénio, inibindo a angiogénese e atenuando a resposta proliferativa dérmica (Eming et al. 2017; Guillamat-Prats 2021). Assim, a ausência de diferenças entre géneros nas regiões irradiadas são sugestivas de um eventual benefício do LASER terapêutico classe IV.

A coloração da pele está associada ao nível e ao tipo de perfusão sanguínea cutânea, e conseqüentemente, à oxigenação tecidual e integridade vascular (Jackson and Marsella 2012). No presente estudo, observou-se uma coloração mais rosada nas áreas CL, particularmente em T2, momento de avaliação correspondente ao oitavo dia pós-operatório e que, por sua vez, coincide com o pico da fase proliferativa da cicatrização. Na fase proliferativa ocorrem fenómenos de angiogénese, caracterizados pela formação de novos capilares sanguíneos formados pela ação de VEGF, FGF e TGF- β e que são fundamentais no restabelecimento da perfusão e oxigenação dos tecidos (Winkler and Miller 2025). Além disso, ainda na fase proliferativa, surgem fenómenos de reepitelização impulsionados pela ação de fatores como o VEGF e o FGF (Davidson 2015; Sorg and Sorg 2023). Desta forma, existe a possibilidade do LASER terapêutico classe IV induzir diretamente o fenómeno angiogénico, estimular a produção de ATP e a expressão do fator VEGF pelas células endoteliais e fibroblásticas, promovendo a formação e a maturação de neovasos. Esta resposta vascular poderá traduzir-se numa coloração mais viva e homogénea da pele, tal como ilustram os resultados obtidos no estudo realizado. A resposta angiogénica foi mais acentuada nos gatos em comparação com os cães, o que poderá estar relacionado com diferenças anatómicas e fisiológicas entre as espécies (Bohling and Henderson 2006; Bohling 2014; Vitor 2015). Os gatos apresentam uma epiderme mais fina e com menor densidade de tecido adiposo subcutâneo, favorecendo a penetração e absorção do feixe de LASER, com possibilidade de aumentar a resposta vascular. Além disso, a vascularização cutânea dos gatos é mais superficial, o que facilita a observação do fenómeno angiogénico (Jackson and Marsella 2012). No que respeita às diferenças entre géneros, nas áreas controlo (SL) observou-se uma coloração rosada mais evidente nas fêmeas em comparação aos machos. Este achado poderá estar associado à ação estrogénica, uma vez que os estrogénios promovem a vasodilatação e a angiogénese, em parte por via do aumento da expressão do VEGF, bem como por influenciarem positivamente a integridade do endotélio e a reatividade vascular (Eming et al. 2017; Guillamat-Prats 2021). Por outro lado, os androgénios tendem a exercer efeitos inibitórios sobre estes processos, reduzindo o potencial angiogénico. Contudo, nas áreas CL, esta diferença entre géneros não foi evidente, sugerindo que o LASER possibilitou a modulação da resposta vascular. Este efeito poderá estar associado à ativação de vias dependentes de espécies reativas de oxigénio (ROS) e da cadeia respiratória mitocondrial, nomeadamente da citocromo C oxidase, promovendo um aumento da expressão de VEGF.

Assim, é provável que o LASER terapêutico tenha a capacidade de superar as variações hormonais de base, conferindo uniformidade à resposta vascular e à coloração cutânea entre os diferentes géneros.

Os hematomas resultam do extravasamento de sangue para o espaço intersticial na sequência da lesão vascular, ocorrendo tipicamente nas fases iniciais da cicatrização. No processo de resolução, ocorre fagocitose dos eritrócitos por macrófagos e a consequente metabolização da hemoglobina em biliverdina e bilirrubina, conferindo as alterações cromáticas visíveis na pele (Wilkinson and Hardman 2020). A presença de hematomas associa-se à extensão da lesão, integridade vascular e eficácia da resposta inflamatória e linfática presente. No presente estudo, verificou-se uma redução mais rápida da presença de hematomas nas áreas CL, sobretudo até ao tempo T2, refletindo uma resolução inflamatória mais eficiente quando comparado com as áreas SL.

O LASER terapêutico classe IV poderá ter atuado neste processo ao estimular a drenagem linfática, a libertação de óxido nítrico (NO) e ao promover a estabilização endotelial. Assim, existe a possibilidade da fotobiomodulação reduzir a expressão de citocinas como a IL-1 e o TNF- α , estimular a migração de macrófagos, a fagocitose dos eritrócitos extravasados e ainda a reorganização do leito vascular, facilitando a reabsorção de hemorragias subcutâneas e a degradação da hemoglobina, promovendo uma recuperação mais rápida da integridade capilar (Roy and Sen 2012; Sorg and Sorg 2023). A libertação controlada de ROS assim como a ativação da Citocromo C oxidase contribuem ainda para a redução da permeabilidade capilar, para a modulação do infiltrado inflamatório e para o aumento do metabolismo celular com ativação de vias de sinalização que regulam a atividade macrófágica e a reorganização vascular (Chung et al. 2012; Roy and Sen 2012). Desta forma, os macrófagos ativados exibem maior capacidade fagocitária, o que permite a aceleração da remoção dos eritrócitos extravasados e a diminuição do tempos de permanência dos hematomas. Por outro lado, a vasoconstrição reflexa inicial e o consequente equilíbrio entre os fatores VEGF e FGF contribuem também para a estabilização vascular precoce (Sorg and Sorg 2023).

Apesar das hormonas sexuais influenciarem a fragilidade capilar e a viscosidade sanguínea (os estrogénios podem favorecer maior fragilidade vascular em determinadas fases do ciclo hormonal), estas diferenças não se refletiram significativamente entre géneros de acordo como os resultados obtidos no presente estudo. Tal constatação poderá estar associada à ação moduladora dominante do LASER sobre a homeostasia vascular e linfática, reforçando a sua potencial eficácia terapêutica na resolução de hemorragias localizadas e no controlo do exsudado.

Adicionalmente, a ausência de diferenças significativas entre espécies ou faixas etárias sustenta a possibilidade do carácter universal da resposta à fotobiomodulação, com

efeitos fisiológicos compatíveis com a estabilização vascular e a resolução de edemas hemorrágicos iniciais. Interessante, contudo, foi notar que, nos indivíduos com maior condição corporal, foi observada uma maior persistência de hematomas nas áreas SL, o que poderá estar relacionado com a presença de maior quantidade de tecido adiposo subcutâneo, o qual apresenta maior vascularização, maior grau de inflamação e menor eficiência de drenagem. Contudo, tal diferença anulou-se nas áreas CL, abrindo a possibilidade deste resultado ser devido à ação do feixe de LASER que, quando incide sobre o tecido adiposo poderá ter a capacidade de diminuir o grau de inflamação presente, reorganizar a vasculatura adiposa e estimular a drenagem linfática local, refletindo-se assim numa maior brevidade de presença dos hematomas.

A análise da temperatura regional da pele revelou um incremento significativo nas áreas CL ao longo do tempo. Este aumento permite extrapolar que é provável que o LASER tenha induzido uma ativação metabólica local. A estimulação do sistema da citocromo C oxidase aumenta a produção de ATP, assim como a atividade metabólica celular, promovendo a vasodilatação e o aumento da perfusão local, que se faz refletir no aumento da temperatura presente nas áreas CL (Chung et al. 2012; Boixeda et al. 2018). Tal efeito está diretamente relacionado com a fase inflamatória e o início da fase proliferativa do processo de cicatrização, em que a reorganização dos diferentes tipos de células exige um maior aporte energético, mediado pelo óxido nítrico (NO), cuja síntese poderá ter sido estimulada pela ação do LASER nas células endoteliais e nos fibroblastos (Boixeda et al., 2018). Esta vasodilatação facilita a chegada de nutrientes e oxigênio à zona da ferida, otimizando o processo de cicatrização. Contudo, este efeito não se verificou nas áreas SL, nem foi influenciado pelas variáveis idade, gênero ou espécies, sustentando mais uma vez a hipótese de existir uma resposta fisiológica consistente ao estímulo energético do LASER.

A elasticidade da pele depende diretamente da integridade e da organização das fibras de colagénio e de elastina presentes na MEC (Gardeazabal and Izeta 2024). No presente estudo, a elasticidade melhorou significativamente nas áreas CL, refletindo uma reorganização e maturação mais eficaz da MEC. O estímulo à produção de colagénio tipo I e III, elastina e fibronectina, promovido pelo aumento de ATP e ativação dos fibroblastos, confere ao tecido em cicatrização, características biomecânicas superiores com propriedades mais funcionais e mais elásticas (Schreml et al. 2010). Assim, a fotobiomodulação poderá ter estimulado a regulação das metaloproteinasas (MMPs) e dos seus inibidores tecidulares (TIMPs), equilibrando a degradação e a síntese dos componentes da MEC, o que assegura uma reestruturação harmoniosa, controlada e eficaz da pele (Isaac et al. 2010). Este processo pode ainda resultar numa melhoria progressiva da plasticidade e da resistência cutânea, particularmente evidente nos momentos T1 e T2.

Importa ainda considerar o papel das hormonas sexuais neste contexto. Os estrogénios, ao aumentarem a atividade dos fibroblastos e a deposição de colagénio, exercem um efeito positivo na elasticidade e tonicidade cutânea, ao passo que os androgénios tendem a reduzir a espessura da derme e a densidade de fibras elásticas (Eming et al. 2017; Guillaumat-Prats 2021). Contudo, no presente estudo, tais diferenças entre géneros não se refletiram significativamente nos resultados obtidos, o que poderá ser explicado pela ação do LASER enquanto potencial modulador da resposta fibroblástica e organizador da MEC. Assim, a estimulação bioenergética induzida pelo feixe de LASER poderá ter compensado as variações hormonais, contribuindo para uma resposta homogénea entre os grupos em estudo.

No que respeita à presença de fluídos na região da sutura – incluindo inflamatório, linfático e pequenas acumulações de líquido sero-hemático – este constitui um indicador relevante da resposta inflamatória local e da eficiência dos mecanismos de drenagem patentes. No presente estudo, observou-se uma redução mais célere e mais marcada da presença de fluídos nas áreas CL. Este efeito poderá ser explicado por vários mecanismos fisiológicos que a fotobiomodulação pode induzir. Em primeiro lugar, a ativação do sistema da citocromo C oxidase e o conseqüente aumento da produção de ATP, contribui para a recuperação funcional das células endoteliais e linfáticas, favorecendo a reorganização vascular e a reativação da drenagem linfática (Chung et al. 2012; Redondo and Stephens 2019).

A redução do edema decorre da diminuição da permeabilidade vascular, da estabilização do endotélio capilar e da reabsorção eficiente dos fluídos intersticiais. Este processo é mediado pela ativação de canais iónicos, como os canais de sódio e de potássio, e de aquaporinas, as quais são proteínas especializadas no transporte de água através da membrana celular. A maior disponibilidade de ATP resultante possivelmente da fotobiomodulação, terá estimulado a ação das bombas iónicas (como a Na^+/K^+ - ATPase), regulando a osmolaridade intracelular e o aumento do movimento de fluidos do interstício para o interior dos vasos ou células (Boixeda et al. 2018; Wilkinson and Hardman 2020). Além disso, é provável que este mecanismo possa ser complementado pela modulação da resposta inflamatória que o LASER pode induzir: diminuindo a expressão de citocinas, como o $\text{TNF-}\alpha$ e a $\text{IL-1}\beta$, diminuindo a ativação de mastócitos e a conseqüente libertação de histamina, substância que normalmente aumenta a permeabilidade capilar (Sorg and Sorg 2023). A menor permeabilidade associada à reativação linfática, cria um ambiente mais estável e seco, essencial para o decorrer da cicatrização. A ausência de diferenças significativas entre espécies, géneros ou idades sugere que a ação do LASER poderá ter sido preponderante ao ponto de superar variações fisiológicas individuais, promovendo uma drenagem eficaz em todos os subgrupos analisados.

Uma limitação relevante do presente estudo relaciona-se com a ausência de aleatorização na escolha da região incisional sujeita à fotobiomodulação, uma vez que foi, sistematicamente, selecionada a metade cranial/proximal da ferida para aplicação do LASER terapêutico classe IV. Este procedimento poderá ter introduzido um viés posicional, dado que fatores anatómicos ou hemodinâmicos locais, ainda que subtis, podem influenciar diferencialmente o processo de cicatrização ao longo da extensão da sutura. Além disso, a avaliação dos parâmetros clínicos foi realizada por um único observador não cego para o protocolo terapêutico, o que poderá ter condicionado a objetividade da análise e aumentado o risco de enviesamento de aferição. Assim, futuros estudos deverão considerar a implementação de métodos aleatórios na seleção da área a tratar, bem como a aplicação de protocolos de avaliação cega e, idealmente, com recurso a múltiplos observadores, de forma a reforçar a validade interna dos resultados e a robustez metodológica dos ensaios de fotobiomodulação em contexto clínico.

5. Conclusão

O presente estudo permitiu demonstrar, de forma objetiva e fundamentada, que o uso de LASER terapêutico classe IV poderá exercer um impacto fisiologicamente mensurável e clinicamente relevante sobre os diferentes parâmetros envolvidos no processo de cicatrização cutânea em cães e gatos. Através de um desenho experimental bem estruturado, e com o recurso a uma escala padronizada de avaliação cicatricial, foi possível identificar alterações significativas ao nível da espessura cutânea, coloração da pele, presença de hematomas, temperatura regional, elasticidade e presença de fluidos, com particular destaque para as áreas CL.

Os resultados obtidos evidenciam que o feixe LASER, provavelmente, promoveu uma modulação eficaz das fases inflamatória e proliferativa do processo cicatricial, favorecendo a resolução do edema, o aumento da perfusão tecidual, a reorganização da MEC e a estimulação de vias metabólicas centrais como a via mitocondrial da citocromo C oxidase. Este mecanismo bioenergético, transversal às diferentes espécies e características individuais dos animais avaliados, permite compreender a uniformidade de resposta verificada entre cães e gatos, bem como entre géneros, idades e condições corporais distintas. A ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os subgrupos analisados reforça a hipótese da sólida resposta fisiológica induzida pelo LASER, superando potenciais limitações associadas a variações hormonais, como a influência dos estrogénios e androgénios na vascularização, elasticidade da pele e deposição de colagénio. Assim, a atuação do LASER poderá ter sido suficientemente potente para mitigar estas variáveis intrínsecas, conferindo um efeito harmonizador sobre a dinâmica tecidual regenerativa.

Neste sentido, é possível que o LASER terapêutico classe IV seja considerado uma ferramenta muito eficaz, não invasiva e de elevado potencial na medicina veterinária regenerativa, não apenas pela sua potencial eficácia terapêutica, mas também pela segurança e aplicabilidade em doentes de diferentes perfis. A consistência dos resultados observados e a base fisiológica que os sustenta conferem à fotobiomodulação um papel cada vez mais consolidado nos protocolos de apoio à cicatrização cutânea.

Apesar da amostra estudada apresentar alguma heterogeneidade natural, a avaliação intra-indivíduo e o controlo padronizado das variáveis permitiram mitigar o impacto destas diferenças, reforçando a validade dos dados obtidos. No entanto, futuros estudos deverão incorporar metodologias complementares de avaliação — como elastografia por ultrassonografia, termografia digital e análise histológica — e aplicar o LASER em contextos clínicos mais desafiantes, como feridas infetadas, ulcerações crónicas ou dermatites inflamatórias autoimunes. Além disso, seria pertinente explorar diferentes parâmetros, como por exemplo, a dose debitada no tecido, a frequência usada e ainda o tipo de LASER empregue, bem como um estudo sobre os potenciais efeitos desta terapia médio e longo prazo.

Concluindo, os dados aqui apresentados validam a fotobiomodulação com LASER terapêutico classe IV como uma provável intervenção regenerativa eficaz, consistente e promissora no apoio à cicatrização de feridas cirúrgicas em pequenos animais, abrindo portas à sua integração mais sistemática na prática clínica e à consolidação do seu uso em medicina veterinária baseada na evidência.

6. Bibliografia

- Abbas AK, Lichtman AH, Pillai S, Zachary JF. 2022. Basic Immunology: Functions and Disorders of the Immune System. 6 th. ELSEVIER.
- Ackerman MR. 2022. Inflammation and Healing. In: Zachary JF, editors. Pathologic Basis of Veterinary Disease. 7 th. St. Louis: ELSEVIER; p. 104 - 170.
- Bohling M. 2014. Feline Soft Tissue and General Surgery. 1st ed. Veika Britanija: ELSEVIER (Wound Healing).
- Bohling MW, Henderson RA. 2006. Differences in Cutaneous Wound Healing Between Dogs and Cats. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 36(4):687–692. doi:10.1016/j.cvsm.2006.02.001.
- Boixeda P, Calvo M, Bagazgoitia L. 2018. Recent Advances in Laser Therapy and Other Technologies. *Actas Dermo-Sifiligráficas (English Edition)*. 99(4):262–268. doi:10.1016/S1578-2190(08)70249-X.
- Capon A, Mordon S. 2003. Can Thermal Lasers Promote Skin Wound Healing? *Lille University Hospital*.:12.
- Choung H-W, Lee S-H, Ham AR, Lee NR, Kim B, Pang K-M, Jahng JW, Lee J-H. 2019. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy with a 915 Nm Wavelength Diode Laser on the Healing of Intraoral Mucosal Wound: An Animal Study and a Double-Blind Randomized Clinical Trial. *Medicina*. 55(8):405. doi:10.3390/medicina55080405.
- Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang Y-Y, Carroll JD, Hamblin MR. 2012. The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy. *Ann Biomed Eng*. 40(2):516–533. doi:10.1007/s10439-011-0454-7.
- Davidson JR. 2015. Current Concepts in Wound Management and Wound Healing Products. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 45(3):537–564. doi:10.1016/j.cvsm.2015.01.009.
- Einstein A. 1917. The Quantum Theory of Radiation. *Physikalische Zeitschrift*. 18:121–128.
- Eming SA, Wynn TA, Martin P. 2017. Inflammation and metabolism in tissue repair and regeneration. *Science*. 356(6342):1026–1030. doi:10.1126/science.aam7928.
- Enwemeka CS, Parker JC, Dowdy DS, Harkness EE, Harkness LE, Woodruff LD. 2004. The Efficacy of Low-Power Lasers in Tissue Repair and Pain Control: A Meta-Analysis Study. *Photomedicine and Laser Surgery*. 22(4):323–329.
- Gardeazabal L, Izeta A. 2024. Elastin and collagen fibres in cutaneous wound healing. *Experimental Dermatology*. 33(3):e15052. doi:10.1111/exd.15052.
- Gordon JP, Zeiger HJ, Townes CH. 1954. Molecular Microwave Oscillator and New Hyperfine Structure in the Microwave Spectrum of NH₃. *Physical Review*. 95(1):282–284. doi:10.1103/physrev.95.282.
- Guillamat-Prats R. 2021. The Role of MSC in Wound Healing, Scarring and Regeneration. *Cells*. 10(7):1729. doi:10.3390/cells10071729.
- Gurtner GC, Werner S, Barrandon Y, Longaker MT. 2008. Wound Repair and Regeneration. *Nature*. 453(7193):314–321.
- Hyttel P, Sinowatz F, Vejsted M. 2012. *Embriologia Veterinária*. Rio de Janeiro: ELSEVIER.

- Isaac C, Ladeira PRSD, Rêgo FMPD, Aldunate JCB, Ferreira MC. 2010. Processo de cura das feridas: cicatrização fisiológica. *Rev Med (São Paulo)*. 89(3/4):125. doi:10.11606/issn.1679-9836.v89i3/4p125-131.
- Jackson HA, Marsella R. 2012. *BSAVA manual of canine and feline dermatology*. 3rd ed. Gloucester: BSAVA (Manual series).
- Junqueira LC, Carneiro J. 2013. *Histologia Básica*. 12th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Ltda.
- Kessler D, ethlefsen S, Haase I, Plomann M, Hirche F, Krieg T. 2011. Fibroblasts in mechanically stressed collagen lattices assume a “synthetic” phenotype. *The Journal of Biological Chemistry*. 276(39).
- Kumar V, Abbas AK, Aster JC. 2020. *Robins & Cotran Pathologic Basics of Disease*. 10 th. ELSEVIER.
- Kurach LM, Stanley BJ, Gazzola KM, Fritz MC, Steficek BA, Hauptman JG, Seymour KJ. 2015. The Effect of Low-Level Laser Therapy on the Healing of Open Wounds in Dogs. *Veterinary Surgery*. 44(8):988–996. doi:10.1111/vsu.12407.
- Maiman TH. 1960. Stimulated Optical Radiation in Ruby. *Nature*. 187:493–494. doi:https://doi.org/10.1038/187493a0.
- Maltese G, Karalliedde J, Rapley H, Amor T, Lakhani A, Gnudi L. 2015. A Pilot Study to Evaluate the Efficacy of Class IV Lasers on Nonhealing Neuroischemic Diabetic Foot Ulcers in Patients With Type 2 Diabetes. *Diabetes Care*. 38(10):e152–e153. doi:10.2337/dc15-0774.
- Miller WH, Griffin CE, Campbell KL. 2013. *Small Animal Dermatology*. 7th ed. St. Louis: ELSEVIER.
- Özer H, İnci MA. 2024. Effect of low-level laser therapy in wound healing of primary molar teeth extraction. *BMC Oral Health*. 24(1):348. doi:10.1186/s12903-024-04145-5.
- Redondo MS, Stephens BJ. 2019. *Veterinary laser therapy in small animal practice*. Great Easton: 5m Books.
- Roy S, Sen CK. 2012. miRNA in Wound Inflammation and Angiogenesis. *Microcirculation*. 19(3):224–232. doi:10.1111/j.1549-8719.2011.00156.x.
- Sadler TW. 2012. *Langman’s medical embryology*. 12th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Schreml S, Szeimies R, Karrer S, Heinlin J, Landthaler M, Babilas P. 2010. The impact of the pH value on skin integrity and cutaneous wound healing. *Acad Dermatol Venereol*. 24(4):373–378. doi:10.1111/j.1468-3083.2009.03413.x.
- Singh B. 2017. *Dyce, Sack, and Wensing’s Textbook of Veterinary Anatomy*. 5th ed. ELSEVIER.
- Sorg H, Sorg CGG. 2023. Skin Wound Healing: Of Players, Patterns, and Processes. *Eur Surg Res*. 64(2):141–157. doi:10.1159/000528271.
- Vitor M. 2015. Proposta de uma escala para avaliação do processo de cicatrização de ferida cirúrgica no cão e gato. [Lisboa]: Faculdade de Medicina Veterinária.
- Welle MM, Linder KE. 2022. The integument. In: Zachary JF, editors. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 7 th. St. Louis: ELSEVIER; p. 1095 - 1262.

Wilkinson HN, Hardman MJ. 2020. Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. *Open Biol.* 10(9):200223. doi:10.1098/rsob.200223.

Winkler CJ, Miller LA, editors. 2025. *Laser Therapy in Veterinary Medicine - Photobiomodulation*. 1st ed. New Jersey: Wiley. [accessed 2025 Feb 24]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781394205356.fmatter>.

7. Anexos

Anexo I – Escala para Avaliação do Processo de Cicatrização de Ferida Cirúrgica (EAPCFC) (Vitor 2015)

Escala para Avaliação do Processo de Cicatrização de Ferida Cirúrgica						
Nome do Proprietário:			Nome do Doente:			
Espécie:	C	F	Gênero:	F	M	Idade:
Raça:		Raça:		Data:		/ /
Tipo de Cirurgia:						
T0 = pós-cx imediato		T1 = 24 h após cx		T2 = 8 dias após cx		T3 = 21 dias após cx
TEMPOS						
COLORAÇÃO DA PELE						
T0	Normal (0)	Rosada (1)	Vermelha (2)	Roxa (3)	Preta/Branca (4)	
T1	Normal (0)	Rosada (1)	Vermelha (2)	Roxa (3)	Preta/Branca (4)	
T2	Normal (0)	Rosada (1)	Vermelha (2)	Roxa (3)	Preta/Branca (4)	
T3	Normal (0)	Rosada (1)	Vermelha (2)	Roxa (3)	Preta/Branca (4)	
HEMATOMA			TEMPERATURA			
T0	Ausente (0)	Presente (1)	Normal (0)	Aumentada (1)	Diminuída (2)	
T1	Ausente (0)	Presente (1)	Normal (0)	Aumentada (1)	Diminuída (2)	
T2	Ausente (0)	Presente (1)	Normal (0)	Aumentada (1)	Diminuída (2)	
T3	Ausente (0)	Presente (1)	Normal (0)	Aumentada (1)	Diminuída (2)	
ELASTICIDADE		ESPESSURA		LARGURA DE CICATRIZ/QUELÓIDE EM T3		
T0	Normal (0)	Alterada (1)		mm		
T1	Normal (0)	Alterada (1)		mm		
T2	Normal (0)	Alterada (1)		mm		
T3	Normal (0)	Alterada (1)		mm	mm	
TIPO DE LÍQUIDO REGIONAL						
T0	Ausente (0)	Edema (1)	Sero-hemático (2)	Hemático (3)	Purulento (4)	
T1	Ausente (0)	Edema (1)	Sero-hemático (2)	Hemático (3)	Purulento (4)	
T2	Ausente (0)	Edema (1)	Sero-hemático (2)	Hemático (3)	Purulento (4)	
T3	Ausente (0)	Edema (1)	Sero-hemático (2)	Hemático (3)	Purulento (4)	
TIPO DE REACÇÃO AO FIO DE SUTURA						
T0	Ausente (0)	Ligeira / Moderada (1)			Exuberante (2)	
T1	Ausente (0)	Ligeira / Moderada (1)			Exuberante (2)	
T2	Ausente (0)	Ligeira / Moderada (1)			Exuberante (2)	
T3	Ausente (0)	Ligeira / Moderada (1)			Exuberante (2)	
VALOR TOTAL DE PONTUAÇÃO OBTIDA EM CADA TEMPO AVALIADO						
Tempo	T0	T1	T2	T3		
Valor						

Observações:

Anexo II – Escala para Avaliação do Processo de Cicatrização de Ferida Cirúrgica (EAPCFC) adaptada a este estudo (Original)

Escala para Avaliação do Processo de Cicatrização de Ferida Cirúrgica

Doente: _____ Espécie: C F Gênero: M F Idade: ___ Data: ___/___/___

Tipo de Cirurgia: _____ Protocolo Laser: _____

T0 = pós-cx imediato T1 = 48 h após-cx T2 = 8 d após-cx

CL = região onde foi aplicado o Laser Terapêutico SL = região onde NÃO foi aplicado o Laser Terapêutico

COLORAÇÃO DA PELE

Outra (0) Rosada (1)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

TEMPERATURA REGIONAL

Normal (0) Outra (1)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

ESPESSURA DA PELE (mm)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

PRESENÇA DE HEMATOMA

Discreto/ Ausente (0) Presente (1)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

ELASTICIDADE DA PELE

Normal (0) Outra (1)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

PRESENÇA DE FLUIDOS

Ausente (0) Outra (1)

T0 CL = T1 CL = T2 CL =
SL = SL = SL =

Anexo III – Dispositivo de LASER Terapêutico Classe IV Doctor Vet utilizado no presente estudo (DoctorVet user manual)



Anexo IV – Imagens do monitor do LASER de Classe IV DoctorVet para seleção dos protocolos terapêuticos utilizados no presente estudo (original)



Anexo V – Imagem de Ferida Cirúrgica no Membro Pélvico nos momentos de avaliação T0 e em T1, com aplicação do LASER Terapêutico classe IV na zona CL, e onde é possível avaliar a diferença cutânea em T1 entre SL e CL, hematoma evidente, discreto nível de fluido regional em SL contrariamente ao avaliado em CL (Original)

