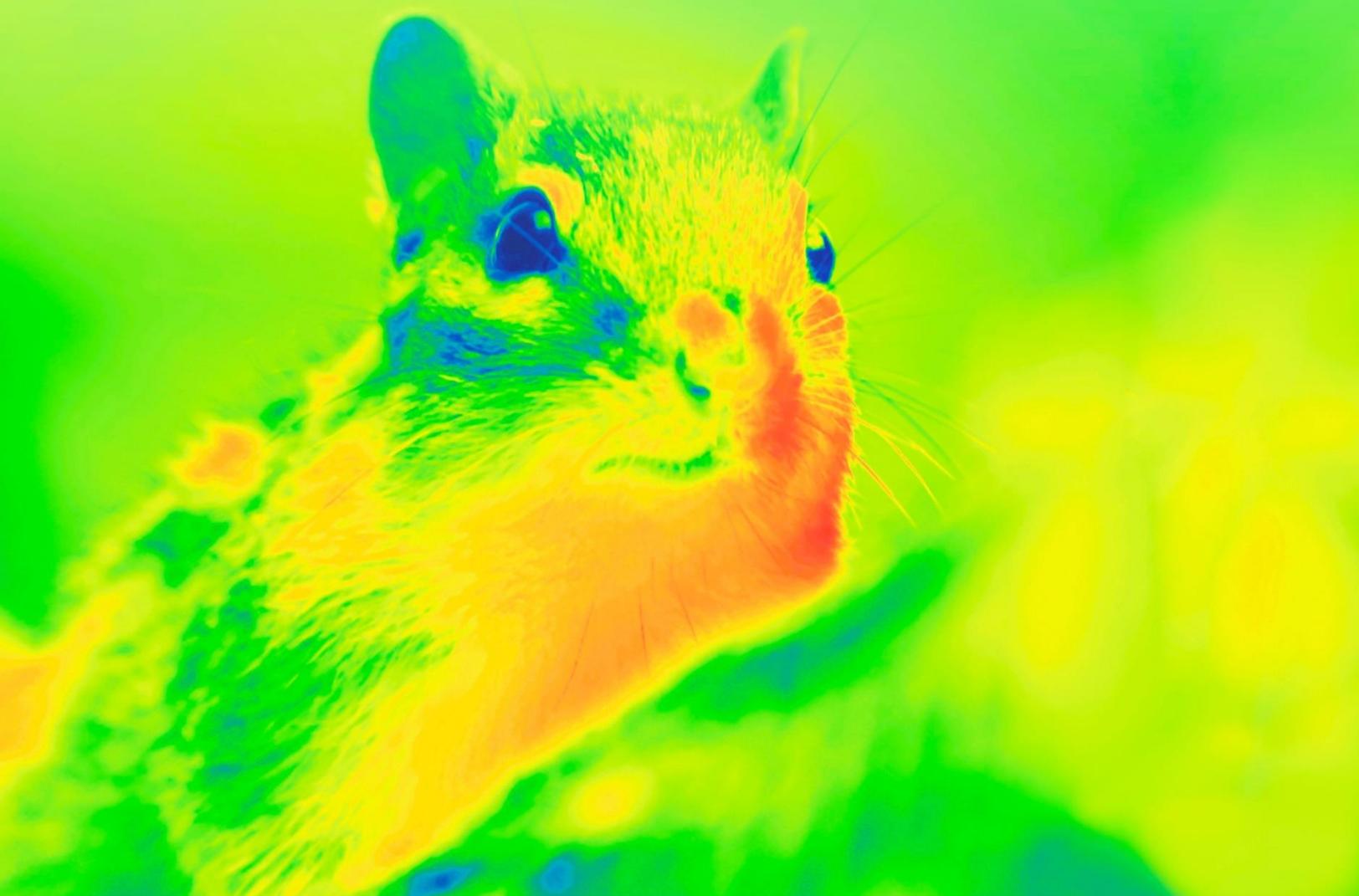


# O potencial da imagem térmica para ajudar os animais na natureza: uma revisão da literatura



## **Publicado por Ética Animal**

4200 Park Blvd. #129  
Oakland, CA 94602  
Estados Unidos da América

info@animal-ethics.org  
www.animal-ethics.org/pt

A Ética Animal é uma instituição de caridade sem fins lucrativos que visa fornecer informações e recursos sobre questões relacionadas à consideração moral de todos os animais sencientes. É aprovada pelo Internal Revenue Service como uma organização isenta de impostos 501(c)(3), e seu Número de Identificação Federal (EIN) é 46-1062870.

---

© Ética Animal 2024, disponível para download gratuito. É permitida a reprodução parcial com citação da fonte. Para reimpressões de uma parte substancial deste relatório, entre em contato com a Ética Animal.

Citação sugerida: Ética Animal (2024 [2022]) *O potencial da imagem térmica para ajudar os animais na natureza: uma revisão da literatura*. Oakland: Ética Animal, disponível em <https://www.animal-ethics.org/imagem-termica-para-ajudar-animais>.

Publicado originalmente em inglês como *The potential of thermal imaging to help animals in the wild: A literature review*, <https://www.animal-ethics.org/thermal-imaging-help-animals-review>.

A revisão da literatura foi pesquisada e escrita por Sue Godsell. A tradução para o português foi feita por Luciano Carlos Cunha e revisada por Indira de Freitas Nimer e Bruno Vilela Oliveira.

# Conteúdo

INTRODUÇÃO .....	1
O que é termografia infravermelha (TIV)? .....	1
Emissividade .....	3
Ângulo de observação e distância .....	3
Condições atmosféricas e ambientais.....	4
Como a TIV pode ser implantada?.....	4
Aplicações da TIV com animais selvagens .....	5
<b>1. LOCALIZANDO E ESTIMANDO O NÚMERO DE ANIMAIS USANDO CÂMERAS</b>	
<b>TERMOGRÁFICAS .....</b>	<b>6</b>
Áreas de difícil acesso.....	10
Ambientes de selvas e florestas.....	10
Habitats montanhosos .....	13
Ambientes marinhos.....	14
Animais noturnos, crípticos e escavadores .....	17
Aves.....	22
Animais ectotérmicos .....	24
<b>2. O USO DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TIV) PARA DETECTAR DOENÇAS E LESÕES EM ANIMAIS.....</b>	<b>25</b>
Como a TIV pode detectar doenças e lesões? .....	25
Usando a TIV para detectar doenças e lesões em animais .....	26
<b>3. USANDO A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA DETECTAR E MEDIR O ESTRESSE EM ANIMAIS SELVAGENS .....</b>	<b>30</b>
Como a TIV pode detectar o estresse?.....	30
Usando a TIV para detectar e medir o estresse em animais selvagens.....	31
Vantagens e limitações.....	33
Como a TIV pode ajudar os animais silvestres?.....	36
TIV e danos antropogênicos (causados por humanos) .....	38
<b>4. PESQUISAS ADICIONAIS.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

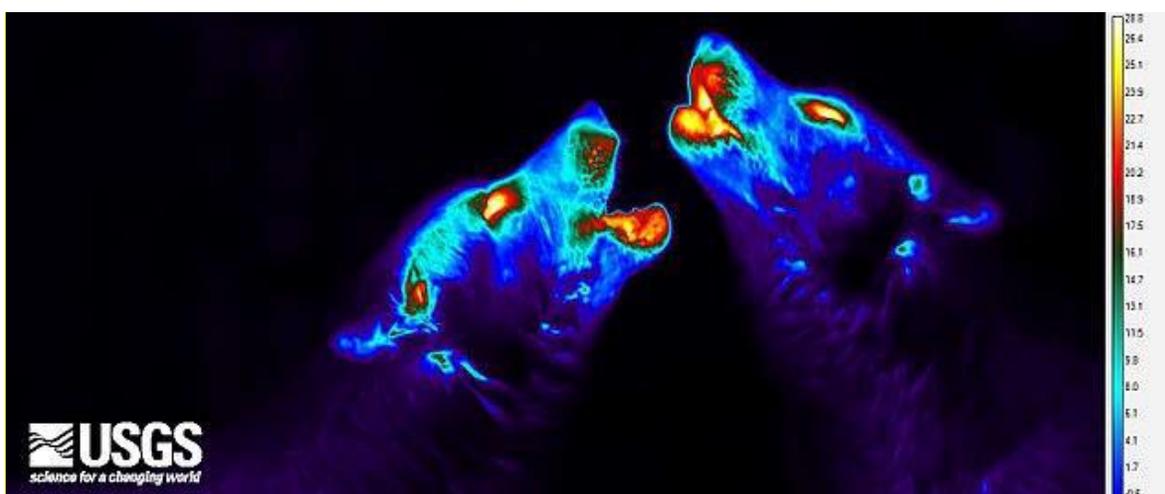
## Introdução

A imagem térmica, também conhecida como termografia infravermelha ou TIV (IRT em inglês, *infrared thermal imaging*), é uma tecnologia cada vez mais utilizada em diversas aplicações com animais. Embora exista uma grande quantidade de literatura sobre o potencial da TIV para avaliar o bem-estar de animais em cativeiro, bem como sobre seu uso na medicina veterinária e na pesquisa biológica, esta revisão abrange estudos nos quais a tecnologia foi utilizada com animais selvagens, com o objetivo de explorar como ela pode ajudar a mitigar os danos naturais em particular. A revisão não cobre as especificações técnicas detalhadas dos sistemas utilizados, e o foco está na coleta de dados, não na análise dos dados. Esta é uma revisão exploratória, e não sistemática, que cobre de que consiste a imagem térmica e examina suas aplicações, como localizar e estimar o número de populações selvagens e detectar doenças, ferimentos e estresse em animais selvagens. Também aborda como essa tecnologia poderia ser útil para avaliar ou melhorar o bem-estar dos animais selvagens; as vantagens e limitações de utilizá-la e as possibilidades de pesquisas futuras. Como se trata de uma tecnologia em rápida evolução, os artigos abordados foram publicados principalmente a partir de 2015, sendo a grande maioria publicada a partir de 2019. Estudos anteriores a 2015 foram incluídos apenas quando são de particular interesse ou nenhum trabalho recente semelhante foi realizado. Sempre que possível, foram utilizados artigos de acesso aberto.

### O que é termografia infravermelha (TIV)?

Os humanos e a maioria dos outros animais veem ondas no espectro visual entre 390 e 700 nanômetros (nm). Qualquer coisa que tenha uma temperatura acima do zero absoluto (0°K, -273,15°C) também produz ondas no espectro infravermelho (700 nm–1 mm) que não podemos ver, mas, em certos intervalos, podemos sentir como calor (Travain & Valsecchi 2021). A termografia infravermelha (TIV), também conhecida como imagem térmica, utiliza câmeras que são sensíveis a esses comprimentos de onda

mais longos e podem capturá-los como imagens. As imagens de uma câmera térmica são então analisadas utilizando-se um software especializado, na própria câmera ou por meio de um computador conectado. A saída desse tipo de sistema é conhecida como termograma e geralmente assume a forma de uma imagem visual com diferentes cores correspondendo a diferentes temperaturas (Dineen et al. 2021). A saída pode então ser analisada por meios visuais ou por algoritmos de computador. Um exemplo de termograma é visto na Figura 1 abaixo.



*Fig. 1. Exemplo de imagem térmica mostrando as cores correspondentes a diferentes temperaturas. “Howling Wolves”, U.S. Geological Survey, CC0 1.0 via Wikimedia Commons*

A TIV não deve ser confundida com câmeras de visão noturna, que usam infravermelho de comprimento de onda curto em combinação com câmeras muito sensíveis a pequenas quantidades de luz. A TIV pode ser muito precisa, identificando diferenças de temperatura tão pequenas quanto  $0,05^{\circ}\text{C}$ , e algumas câmeras podem digitalizar até 30 vezes por segundo, permitindo a gravação de vídeo em tempo real (Williams 2019). No entanto, a TIV requer uma diferença entre a temperatura do ambiente e do animal cuja temperatura será medida. Funciona melhor com endotérmicos (“animais de sangue quente”), como a maioria dos mamíferos, pois sua

temperatura corporal não depende da temperatura do ambiente, como ocorre com ectotérmicos (“animais de sangue frio”), como os anfíbios (Williams 2019). No entanto, as maneiras pelas quais a TIV pode ser utilizada com ectotérmicos estão começando a ser exploradas, conforme detalhado em uma revisão feita por Seuront et al. (2018) sobre o uso dessa tecnologia na pesquisa sobre moluscos, e também no trabalho de Liu et al. (2021) na detecção de insetos utilizando TIV.

Há também outras considerações que precisam ser levadas em conta nas medições para garantir um bom nível de precisão: emissividade, distância, ângulo de observação e condições ambientais.

## Emissividade

A emissividade é uma medida de quanto calor uma determinada superfície transmite ao ambiente. As propriedades físicas da superfície que está sendo medida podem afetar quanto calor ela irradia e, portanto, podem afetar o quanto pode ser captado por uma câmera termográfica. Superfícies dos corpos dos animais, como pele, queratina, pelo ou penas, podem impedir que uma parte do calor interno seja emitido para o ar. Isso acontece principalmente com animais com pelo grosso e adaptados para reter o calor, como ursos polares, o que faz com que o animal pareça mais frio do que realmente é. Um coeficiente de emissividade deve ser aplicado às leituras para fornecer uma medida mais precisa da temperatura real da superfície (Nääs et al. 2014). Os coeficientes de emissividade foram calculados para muitos tipos de superfícies de animais (McGowan et al. 2018).

## Ângulo de observação e distância

A radiação infravermelha viaja em linhas retas, e medi-la em um ângulo agudo pode fazer com que os corpos pareçam mais frios do que realmente são (Travain & Valsecchi 2021). Embora as câmeras térmicas possam ser utilizadas a longas distâncias (Williams

2019), as ondas infravermelhas atenuam com a distância. Portanto, isso também precisa ser levado em consideração nas medições (Travain & Valsecchi 2021).

## Condições atmosféricas e ambientais

Conforme descrito acima, é necessária uma diferença mensurável entre a temperatura do animal e seus arredores. Além disso, situações nas quais a temperatura ambiente pode ser controlada, como ambientes internos, fornecem os melhores resultados (Cilulko et al. 2012). Se utilizada ao ar livre, fatores ambientais como temperatura, vento, luz solar, chuva e outras condições meteorológicas precisam ser levados em consideração (Rekant et al. 2016). A luz do sol aquece a superfície do animal, enquanto o vento e a chuva podem esfriá-la, levando a medições não confiáveis (Travain & Valsecchi 2021). Superfícies que refletem o calor do ambiente, como penas ou escamas brilhantes, podem parecer mais quentes do que deveriam (Dineen et al. 2021). Para evitar esses problemas, é melhor fazer medições externas à noite ou em dias nublados (Cilulko et al. 2012).

## Como a TIV pode ser implantada?

As câmeras precisam ser colocadas onde possam obter uma boa leitura e isso é especialmente importante se uma área-alvo específica do animal estiver sendo medida — por exemplo, uma área onde há uma cobertura de pelo reduzida. A pesquisa mostrou que medições bem-sucedidas podem ser obtidas utilizando-se câmeras estáticas, colocadas onde os animais passam regularmente ou em áreas onde comem (ver, por exemplo, Jerem et al. 2019). Para situações mais ativas, câmeras portáteis podem ser uma opção melhor (ver, por exemplo, Hart et al. 2015; Tolpinrud et al. 2017). As câmeras térmicas também podem ser combinadas com novas tecnologias, como drones — também conhecidos como veículos aéreos não tripulados (VANT) ou sistemas aéreos não tripulados (SANT) — para levar as câmeras a ambientes onde os humanos não conseguem ir facilmente, como o ambiente marinho (ver, por exemplo, Horton et al.

2019) ou o dossel da floresta (ver, por exemplo, Zhang et al. 2020). Drones equipados com câmeras térmicas também se mostraram úteis na detecção de animais noturnos e raros (Rahman 2021). Imagens em escala maior também podem ser capturadas por câmeras térmicas em satélites, e estão se mostrando promissoras como uma ferramenta ecológica em conjunto com medições feitas no solo (Still et al. 2019).



*Fig. 2. Câmera termográfica portátil. Marcela Gara, licença Creative Commons CC BY-NC 2.0*

## Aplicações da TIV com animais selvagens

Esta seção abrange pesquisas que usam tecnologia de imagem térmica para localização e estimativa de populações selvagens de animais, e também para detecção de doenças, ferimentos e estresse em animais selvagens.

## 1. Localizando e estimando o número de animais usando câmeras termográficas

A miniaturização das câmeras termográficas e o advento dos drones que podem carregá-las também aumentaram seu uso e ampliaram o leque de áreas que podem ser pesquisadas (Bushaw et al. 2019). As câmeras termográficas podem superar ou adicionar novas dimensões aos métodos existentes, e muitos estudos descobriram que o uso da TIV juntamente com um ou mais métodos tradicionais traz benefícios tanto em termos de precisão de dados quanto de quantidade de recursos necessários, como tempo e pessoas. Esta seção abrange estudos que comparam a TIV com métodos tradicionais e também pesquisas que mostram o uso de imagens térmicas em áreas de difícil acesso, como selvas, montanhas e o ambiente marinho, e com animais difíceis de detectar por meios visuais, como animais noturnos ou crípticos. Grande parte da pesquisa para localização e levantamento de populações de animais foi feita utilizando-se mamíferos de grande porte, pois eles criam uma grande assinatura térmica que pode ser facilmente captada pelas câmeras e identificada nas imagens. No entanto, trabalhos recentes destacados aqui mostram que a tecnologia também pode ser útil ao se pesquisar mamíferos menores, aves e até insetos. Uma área em que a imagem termográfica está se tornando cada vez mais importante é a localização e estimativa do número de populações de animais, atualmente realizadas principalmente para fins de conservação e manejo. Os métodos mais comumente usados dependem da observação visual e muitas vezes envolvem a observação direta de animais utilizando transectos ou pontos de contagem, seja a pé, a partir de veículos motorizados ou de aeronaves. Outras técnicas comuns incluem observação indireta, como contagem de fezes e de rastros. Métodos nocivos, como armadilhas e redes, também ainda estão em uso. A tecnologia está sendo cada vez mais empregada. Métodos como armadilhas fotográficas automatizadas, câmeras fotográficas e de vídeo montadas em veículos aéreos tripulados e não tripulados e imagens de satélite vem sendo utilizados (Goodenough et al. 2018; Prosekov et al. 2020). A imagem térmica também tem sido usada para

pesquisar animais desde o final da década de 1960, mas avanços recentes na tecnologia que tornaram as câmeras mais eficientes e econômicas fizeram com que o uso dessa tecnologia fosse muito mais difundido (Witczuk et al. 2018).

Vários estudos recentes foram realizados comparando drones equipados com TIV com técnicas de levantamento terrestre para o levantamento de cariacus, ou cervos-de-cauda-branca (*Odocoileus virginianus*) nos EUA. Levantamentos com holofotes, usando lanternas de alta potência à noite, em combinação com amostragem à distância, é um método comumente usado para estimar o número de cervos (Preston et al. 2021). A amostragem à distância envolve o levantamento ao longo de uma linha transecta e a contagem de animais em ambos os lados dessa linha. Os animais mais distantes da linha são mais difíceis de detectar e, nesse método, uma correção é incluída nos resultados para compensar isso. As pesquisas geralmente são realizadas em estradas, mas é provável que os cervos evitem estradas, tornando os resultados não confiáveis. Preston et al. (2021) compararam os resultados de pesquisas com holofotes com os resultados de pesquisas com imagens térmicas feitas por câmeras transportadas por drones em dois parques nacionais dos EUA, cobrindo áreas de Maryland, Virgínia e Virgínia Ocidental. Concluíram que a técnica do holofote subestima significativamente o número de cariacus em uma população. Beaver et al. (2020) compararam observadores humanos a bordo de aeronaves com imagens térmicas montadas em um drone para fazer o levantamento de uma população conhecida de cariacus no estado do Alabama, EUA. Eles descobriram que os resultados dos drones térmicos giravam em torno de 78% do número conhecido de indivíduos, subindo para 92% em períodos como o fim de tarde ou com o tempo nublado, onde há maior contraste térmico entre os animais e o ambiente. Isso supera a observação humana feita a partir de aeronaves, que geralmente tem menos de 75% de precisão.



*Fig. 3. Imagem térmica de um cervo.* Arno/Coen, CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons

Outros métodos utilizados para pesquisar cariacus são pesquisas com armadilhas fotográficas e contagens de pelotas fecais. Ireland et al. (2019) compararam levantamentos de armadilhas fotográficas feitas com um drone conectado a equipamento térmico com os feitos por outro não conectado em uma área de Nova Jersey, EUA, e descobriram que os drones térmicos poderiam cobrir áreas muito maiores com mais eficiência. Estimaram que seriam necessárias 176 armadilhas fotográficas para pesquisar a área de 3 hectares com o mesmo nível de cobertura. O cervo pode ser facilmente identificado a partir das imagens térmicas devido ao seu tamanho e forma distinta. McMahon et al. (2021) compararam contagens de pelotas fecais e levantamentos feitos com drones equipados com TIV para medir populações de cariacus em uma reserva em Minnesota, EUA. Embora os resultados tenham sido muito semelhantes para os dois métodos, os levantamentos feitos com drones equipados termicamente foram mais eficientes em termos de tempo, e puderam ser conduzidos com mais frequência do que o demorado método de contagem de pelotas fecais.

O levantamento de populações de animais em áreas vastas, como planícies e desertos, geralmente envolve a contagem de animais amplamente dispersos, o que pode causar problemas se forem utilizadas técnicas visuais tradicionais (Goodenough et al. 2018). Vários artigos recentes se concentraram em estimar o número de cangurus

na Austrália. Gentle et al. (2018) compararam levantamentos feitos com helicópteros tripulados com levantamentos feitos com drones com equipamento térmico, e descobriram que os observadores humanos superaram significativamente as câmeras termográficas. Eles concluíram que, embora os voos de drones com equipamento térmico apresentem potencial para o levantamento de populações de cangurus, mais coisas precisam ser feitas para melhorar a precisão. No entanto, os voos com helicópteros e com drones ocorreram em momentos diferentes, então isso pode ter influenciado os resultados. Lethbridge et al. (2019) conduziram posteriormente um estudo para comparar diretamente as câmeras de imagem térmica com observadores humanos a bordo da mesma aeronave, fazendo o levantamento de cangurus em grandes áreas de habitat, tanto arborizados quanto abertos, na Austrália. Em habitats arborizados, a TIV identificou o dobro do número de indivíduos que foi observado por humanos. No entanto, nas áreas abertas, os observadores humanos superaram as câmeras térmicas em 28%. Os autores acreditam que isso ocorreu porque as pesquisas foram realizadas durante o dia e as imagens térmicas foram afetadas pela luz solar e pelo calor do ambiente. Concluíram que, para obter melhores resultados com os voos equipados com câmeras termográficas, estes devem ser realizados durante os períodos mais frios do dia ou à noite.

Schoenecker et al. (2018) testaram uma câmera multissistema, com sensores térmicos e visuais, montada em um drone de asa fixa, para estimar o número de cavalos selvagens em Wyoming. O número de cavalos na área de estudo já era conhecido e, ao contrário dos resultados vistos por Beaver et al. (2020) acima, o experimento mostrou que as contagens iniciais das imagens térmicas não eram precisas. No entanto, utilizar uma combinação de imagens térmicas com a técnica de amostragem à distância descrita acima forneceu resultados muito mais úteis.

## Áreas de difícil acesso

Avanços recentes na tecnologia de drones melhoraram as capacidades de veículos aéreos não tripulados em áreas que seriam difíceis ou perigosas de acessar a pé, por meio de veículos terrestres ou mesmo por aeronaves tripuladas. Em um exemplo, Lee et al. (2019) identificaram com sucesso colhereiros-de-cara-preta (*Platalea minor*), uma espécie ameaçada, utilizando drones e imagens térmicas em uma zona militar na Coreia do Norte, onde nenhum observador humano era permitido. Testes recentes utilizando drones equipados com câmeras termográficas para pesquisar animais ocorreram em selvas, florestas densas, áreas montanhosas e ambientes marinhos, onde pesquisas terrestres ou pesquisas aéreas tripuladas geralmente exigem um esforço enorme e por vezes podem colocar os pesquisadores em risco.

## Ambientes de selvas e florestas

Localizar e estimar o número de animais é muito difícil em áreas de difícil penetração, como em taigas, selvas e florestas tropicais (Prosekov et al. 2020). A vegetação densa obscurece a visão de observadores humanos e de câmeras visuais, e muitas espécies, como primatas, movem-se muito rapidamente por meio do dossel. Os transectos tradicionais com linha, instalados no solo com observadores humanos, exigem muito esforço e muitas vezes perdem animais individualmente (Bowler et al. 2017). Armadilhas fotográficas colocadas no dossel tiveram algum sucesso, mas, novamente, exigem grande esforço, pois os pesquisadores precisam subir em árvores para instalar e verificar as câmeras (Bowler et al. 2017). Os drones são uma maneira de entrar nesses habitats de difícil acesso. Drones equipados com câmeras termográficas têm sido o foco de vários estudos recentes sobre primatas, particularmente orangotangos (*Pongo spp.*). As contagens diretas de primatas são muitas vezes difíceis devido ao seu comportamento e habitat arbóreo. Em relação a espécies que fazem ninhos de dormir no dossel, esses ninhos podem ser contados como evidência indireta de sua presença (Bonnin et al. 2018). Os ninhos são geralmente contados por

observadores humanos no solo ou em aeronaves, visando fornecer uma estimativa do tamanho da população, mas muitas vezes é difícil saber se um ninho ainda está ocupado ou se foi abandonado. A imagem térmica pode detectar o calor dos ninhos ocupados, portanto, deve fornecer uma contagem mais precisa. Três estudos recentes investigaram a eficácia do uso de drones equipados termicamente na detecção de orangotangos em ambientes de floresta tropical. Dahlen & Traeholt (2018) pesquisaram ninhos de orangotango (*Pongo spp.*) à noite em Kalimantan Central, na Indonésia. A identificação das espécies foi baseada apenas no tamanho – os orangotangos são os únicos animais desse tamanho no dossel superior. Eles detectaram com sucesso orangotangos nos ninhos e, onde as imagens térmicas eram ambíguas, eles sobrevoaram os locais na manhã seguinte e confirmaram visualmente que as imagens ambíguas eram todas ninhos recém-formados de orangotangos. Eles notaram que nenhum dos orangotangos parecia ser perturbado pelos drones sobrevoando acima. Embora fosse um estudo pequeno, eles sentiram que os resultados foram encorajadores. Um estudo maior de Burke et al. (2019) detectou com sucesso 41 orangotangos-de-Bornéu (*Pongo pygmaeus*) e uma tropa de macacos-narigudos (*Nasalis larvatus*), todos verificados por métodos visuais a partir do solo. Devido às árvores emergentes, os drones tiveram que voar a uma altura que tornava não confiável a identificação das espécies, mas os locais exatos foram anotados e depois acompanhados utilizando-se outros métodos. A obstrução pela vegetação costuma ser um problema ao se utilizar a TIV, mas este estudo descobriu que ela funcionou bem em situações com até 50% de cobertura vegetal. Um estudo semelhante de Mutalib et al. (2019) no leste da Malásia foi bem-sucedido na localização de orangotangos-de-Bornéu (*Pongo pygmaeus*), mas também destacou o problema com a vegetação, descobrindo que os drones termicamente equipados forneceram melhores resultados em áreas mais abertas. Embora os operadores pudessem melhorar as imagens alterando o ângulo do drone para evitar a vegetação, os resultados ainda eram menos confiáveis na floresta interna densa. Eles sugerem validação utilizando também câmeras termográficas no solo nessas áreas. Apesar dessas desvantagens, Burke et al. (2019) concluíram que os

drones equipados com TIV apresentam várias vantagens sobre outros métodos, como risco e custo reduzidos em comparação com aeronaves tripuladas e capacidade de cobrir áreas mais rapidamente e com menos esforço do que levantamentos terrestres.

Outros primatas que foram objeto de estudos recentes incluem macacos-aranha (Spaan et al. 2019) e gibões-de-Hainan (Zhang et al. 2020). Spaan et al. (2019) compararam levantamentos terrestres com imagens térmicas feitas com drones para localizar grupos de macacos-aranha (*Ateles geoffroyi*) e estimar o número de indivíduos dentro dos grupos. Os macacos-aranha são particularmente difíceis de contar devido ao seu movimento rápido por entre as árvores e devido ao fato de que os grupos constantemente se dividem e se fundem. Esse estudo se concentrou em grupos dormindo para evitar esses problemas. Os resultados sugerem que a TIV supera os observadores terrestres, particularmente para detectar indivíduos dentro de grupos que contém mais do que 10 indivíduos. Em um pequeno estudo de uma área onde sabe-se que nove gibões-de-Hainan (*Nomascus hainanus*) residem, Zhang et al. (2020) mostraram que os resultados dos drones equipados termicamente eram tão bons quanto os levantamentos terrestres e também forneciam novas informações sobre comportamento, distribuição e seleção de locais de dormir que não eram conhecidas antes.

Enquanto os estudos descritos acima se concentraram em uma única espécie, no estudo realizado por Kays et al. (2019) drones equipados com TIV voaram sobre áreas de floresta tropical do Panamá para pesquisar qualquer espécie que pudesse ser encontrada. Mamíferos arborícolas como bugios (*Alouatta palliata*), macacos-aranha (*Ateles geoffroyi*) e juparás (*Potos flavus*) podem ser avistados pelos drones durante a noite e no início da manhã, mas, durante o dia, a diferença de temperatura entre os animais e seus ambientes não era grande o suficiente. No entanto, à noite é mais difícil prosseguir com outros métodos de identificação precisa das espécies, que não podem ser obtidas a partir de imagens térmicas. Os pesquisadores sugerem que futuras pesquisas com drones combinem imagens térmicas e fotografias com flash para permitir a identificação de espécies.

A maioria dos estudos em áreas florestais foi feita em primatas, mas alguns trabalhos foram feitos em outros tipos de animais. Witczuk et al. (2018) exploraram o uso de drones e imagens térmicas para pesquisar ungulados que vivem em florestas na Polônia. Os métodos geralmente empregados incluem rastreamento de neve e contagem de movimentação, mas nenhum deles fornece contagens muito precisas. Eles detectaram com sucesso espécies grandes, como cervos, e consideraram os resultados promissores para detectar grandes ungulados em áreas geográficas de pequeno a médio porte. O principal problema que encontraram foi a identificação precisa das espécies e recomendam que mais trabalhos sejam feitos na identificação das assinaturas térmicas de várias espécies, com vistas a aprimorar o uso de drones termicamente equipados para o levantamento de ungulados.

Kays et al. (2019) destacaram três problemas principais com o uso de drones termicamente equipados no dossel da floresta tropical: (1) a vegetação densa obscurecendo as emissões térmicas dos animais; (2) a possibilidade de os drones afastarem os animais das câmeras e (3) o problema da identificação precisa das espécies. Enquanto a maioria dos estudos acima não constatou que os drones causaram medo entre os animais pesquisados, os outros dois pontos são problemas apontados por outros estudos e sinalizados para novas pesquisas, visando aprimorar o potencial que a TIV tem nesse tipo de habitat.

## Habitats montanhosos

Métodos tradicionais de levantamento, como observação direta e linhas de transectos, podem ser difíceis e demorados em áreas montanhosas devido ao terreno acidentado (He et al. 2020). O mau tempo, como a neve, também pode atrapalhar os levantamentos e apresentar possíveis problemas de segurança nesses ambientes (Bedson et al. 2021). O risco de queda ao voar baixo sobre áreas montanhosas deve ser levado em consideração para aeronaves tripuladas (Wang et al. 2019). Os drones

podem ajudar a superar alguns desses problemas, mas outras dificuldades se tornam aparentes, como o problema de conseguir manter uma altura constante acima do solo quando há muitas mudanças de elevação. Essa altura constante é necessária para detectar as assinaturas térmicas dos animais (Kim et al. 2021). He et al.(2020) realizaram levantamentos de macacos-dourados-de-nariz- arrebitado-de-Sichuan (*Rhinopithecus roxellana*) com drones carregando câmeras termográficas na área do Monte Quinling, uma região montanhosa alta da China central. Relataram boas taxas de detecção, bem como imagens nítidas dos macacos, identificados pelo tamanho do corpo. Esse estudo também mostrou que as pesquisas com drones equipados termicamente fornecem resultados repetíveis consistentes, ao contrário das contagens variáveis obtidas por observadores humanos no solo, e também fornecem dados de localização precisos para cada grupo de macacos. Kim et al. (2021) pesquisaram javalis (*Sus scrofa*) em áreas planas e em áreas de floresta montanhosa utilizando drones termicamente equipados. Eles observaram que a maioria dos protocolos de levantamento com drones desenvolvidos até agora não são úteis em áreas montanhosas devido às mudanças de altitude, e que os constantes ajustes manuais necessários são demorados, reduzem a vida útil da bateria do drone e aumentam o risco de queda do drone. Eles propõem um sistema para superar esse problema chamado WAYPOINT, que utiliza um drone de reconhecimento para traçar as mudanças de altitude necessárias antes que o levantamento ocorra. Isso ajuda a manter a altitude constante necessária para a detecção térmica precisa dos animais individualmente.

## Ambientes marinhos

Grande parte da pesquisa sobre a detecção da presença de animais nos oceanos se concentrou em mamíferos marinhos, como focas e cetáceos. Tradicionalmente, os levantamentos marinhos usam métodos visuais, incluindo observadores humanos e fotografia, realizados durante levantamentos aéreos, com navios ou em terra (Guazzo et al. 2019). Entretanto, a detecção de animais no oceano aberto é algo difícil, mesmo

de animais de grande porte como baleias, e todos os métodos atuais têm suas desvantagens (Zitterbart et al. 2020). Pode ser difícil avistar animais debaixo da água, então, no mar os pesquisadores procuram por animais que estão emergindo. Os métodos baseados em terra, feitos a partir da costa, procuram por animais arrastados para áreas costeiras e plataformas de gelo.

No mar, os levantamentos feitos por navios com observadores humanos são o método mais comum (Zitterbart et al. 2020). Levantamentos aéreos também são realizados, geralmente utilizando helicópteros tripulados ou aeronaves de asa fixa, o que pode ser arriscado para os pesquisadores e causar distúrbios aos animais (Seymour et al. 2017). Drones equipados com várias câmeras, incluindo TIV, estão sendo cada vez mais utilizados, mas a duração da bateria e os regulamentos sobre a aviação podem ser um problema nos voos prolongados necessários sobre oceanos abertos (Oleksyn et al. 2021). Imagens de satélite também têm sido utilizadas nos últimos anos, mas isso pode ser dificultado pelas condições meteorológicas e pode não detectar animais menores (Seymour et al. 2017).

Tal como acontece com os métodos visuais, é difícil localizar animais debaixo da água ao se utilizar imagens térmicas. A radiação infravermelha, o tipo de radiação medido pela TIV, atenua (torna-se mais fraca e mais difícil de detectar) muito rapidamente na água (Lahoz-Monfort e Magrath 2021). Outra dificuldade é o alto nível de isolamento, como aquele causado pela gordura que os mamíferos marinhos costumam ter sob a pele, o que reduz a diferença de temperatura entre a pele e a água ao redor (Lathlean & Seuront 2014).

Gooday et al. (2018) usaram duas câmeras térmicas, uma montada em um drone e outra no solo, para contabilizar focas da Nova Zelândia (*Arctocephalus forsteri*) arrastadas para a costa e compararam os resultados com fotografias visuais comuns e com contagens diretas feitas nos mesmos locais. Eles descobriram que a TIV terrestre mostrou melhores resultados do que contagens visuais ou fotografias durante os períodos mais frios, como manhã e noite. A TIV montada sobre drone apresentou bons resultados em áreas com vegetação esparsa, mas a vegetação densa diminuiu a

precisão. Outro problema em relação à detecção de animais de espécies marinhas que foi destacado neste estudo é a dificuldade de detectá-los com TIV quando estão cobertos de água, por exemplo, se acabaram de sair do mar. A cobertura de água pode mascarar parcialmente ou completamente a temperatura da pele.

Young et al. (2019) compararam a TIV com dois métodos aéreos tradicionais para estimar a abundância de focas-aneladas (*Pusa hispida*) arrastadas para o gelo no Ártico canadense. Utilizando aeronaves tripuladas, fizeram estimativas populacionais usando observadores humanos, fotografias visuais da área (e subsequente exame das fotografias) e câmeras térmicas montadas na aeronave. As estimativas de densidade feitas pela TIV foram 2 a 3 vezes maiores do que as de outros métodos, sugerindo que a TIV está superando alguns dos problemas do uso de observadores, como fadiga e não perceber alguns animais. Além de melhorar as estimativas de densidade, Young et al. sentiram que o uso mais generalizado da TIV para o levantamento de focas poderia conduzir a mais pesquisas sendo realizadas e mais áreas sendo monitoradas, já que a TIV requer menor quantidade de pessoal treinado e também pode ser feita utilizando-se veículos não tripulados, como drones.

Um estudo de Smith et al. (2020) utilizou um navio de pesquisa no mar equipado com observadores humanos, TIV e monitoramento acústico para detectar várias espécies de mamíferos marinhos no Ártico Canadense. Eles descobriram que usar dois métodos simultaneamente resultou em níveis mais altos de detecção. Uma combinação de observadores humanos e TIV funcionou bem em condições de boa visibilidade, e os resultados foram bons mesmo durante ventos fortes e mar agitado. No entanto, a TIV é prejudicada pelo nevoeiro e pela alta umidade e, nessas condições, os observadores humanos e o monitoramento acústico superaram a TIV.

Enquanto a maioria dos métodos busca por avistamentos dos próprios animais, três estudos recentes examinaram métodos indiretos de detecção no mar, procurando evidências de que o animal havia emergido. Florko et al. (2021) pesquisaram o narval (*Monodon monoceros*) utilizando levantamentos aéreos tripulados equipados com TIV para detectar suas "impressões digitais" (um padrão de diferenças na temperatura da

água criado pela flutuação da barbatana do animal na água). Eles descobriram que essas impressões persistiam por mais tempo na superfície do que aquelas que os narvais faziam ao emergir, e então utilizaram as imagens térmicas das impressões para complementar as fotografias visuais dos animais emergindo, aumentando assim as taxas de detecção. Guazzo et al. (2019) se concentraram em um método para estimar a abundância das baleias-cinzentas do Pacífico Norte Oriental (*Eschrichtius robustus* Lilljeborg) detectando seus sopros (exalações feitas pelas baleias), além de avistamentos visuais e monitoramento acústico de seus cantos. Eles utilizaram a detecção térmica instalada na costa para detectar o sopro. Nesse caso, o sopro pode ser detectado por câmeras térmicas, pois na costa é um pouco mais quente que a água ao redor. Concluíram que a detecção térmica das taxas de sopro foi uma adição útil aos métodos de levantamento de baleias, mas que, no entanto, tem limitações em distâncias mais longe da costa. Zitterbart et al. (2020) utilizaram tanto avistamentos diretos (por exemplo, quando as baleias dão saltos aparecendo na superfície) quanto indiretos (sopros) para estimar a densidade de populações de baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) em quatro locais com diferentes condições ambientais em várias partes do mundo. Utilizaram observadores experientes de mamíferos marinhos e câmeras TIV em plataformas instaladas em diferentes alturas na costa. A TIV teve um bom desempenho, mas os melhores resultados foram obtidos combinando observadores e TIV. Embora seja baseada na costa, eles acreditam que essa metodologia também funcionaria bem no mar.

## Animais noturnos, crípticos e escavadores

Uma área em que a imagem térmica se destaca é na detecção de animais que apresentam um problema específico ao se utilizar métodos de detecção visual, como é o caso de animais noturnos, daqueles com coloração ou comportamento críptico e animais escavadores. Um dos principais métodos utilizados atualmente é o *spotlighting*, por meio da qual os pesquisadores coletam os dados ao longo das linhas de transectos

à noite com lanternas. Essa técnica depende principalmente dos pesquisadores verem o reflexo dos olhos dos animais, chamado de brilho ocular, para detecção. Os levantamentos feitos com o método de spotlight não funcionam bem para populações de baixa densidade, e muitas vezes perdem indivíduos que não estão de frente para o observador (McGregor et al. 2021). Também é um método não confiável para uso com espécies com pouco brilho ocular, como demonstrado pelo trabalho sobre um pequeno marsupial, o bilby-grande (*Macrotis lagotis*), conduzido por Augusteyn et al. (2020). Além disso, pode perturbar os animais. Outros métodos incluem armadilhas fotográficas, placas de rastreamento de pegadas, coleta de pelotas fecais e armadilhas de pelos, mas todos eles têm suas desvantagens — por exemplo, algumas espécies evitam ativamente as armadilhas fotográficas, e animais de algumas espécies de pequeno porte são perdidos por elas (Augusteyn et al. 2020). Os pesquisadores estão procurando por maneiras mais precisas de pesquisar esses animais e tem havido muitos estudos nos últimos anos para testar a TIV com várias espécies dessa categoria e validar seu desempenho em relação aos métodos mais tradicionais.

O levantamento de espécies noturnas é difícil devido à falta de luz, mas também porque muitos animais noturnos pertencem a espécies que são presas, e são muito cautelosos com atividades e ruídos incomuns. As imagens térmicas funcionam bem à noite, quando há um grande contraste entre o calor do corpo do animal e o ambiente ao redor (Bowen et al. 2020). Dois estudos recentes concentraram-se no ouriço-terrestre, também conhecido como ouriço-cacheiro (*Erinaceus europaeus*). Os ouriços-terrestres são noturnos e se enrolam e permanecem imóveis quando perturbados, tornando muito difícil identificá-los visualmente. A contagem dos ouriços é normalmente feita com holofotes, mas, conforme descrito acima, esse método pode ser ineficiente e possivelmente perturbador para os animais também. Bowen et al. (2020) compararam o uso de holofotes e de câmeras térmicas portáteis para contar populações de ouriços em um parque no centro de Londres, Reino Unido. Eles localizaram muito mais ouriços utilizando a TIV e puderam localizá-los a distâncias maiores (uma média de 30 metros, em vez de 12 metros quando usaram holofotes). Eles também descobriram que os

voluntários que realizaram a pesquisa aprenderam a usar as câmeras termográficas rapidamente e menos pessoas foram necessárias do que com holofotes. Bearman-Brown et al. (2020) compararam a eficácia de câmeras térmicas portáteis com a eficácia de holofotes para estimar o número de ouriços em um campus universitário no Reino Unido. Três tipos diferentes de ambiente foram pesquisados: pradarias, pastagens e bosques. Eles contaram o dobro de indivíduos utilizando a TIV, em comparação ao método tradicional de holofotes. No entanto, essas contagens melhoradas ocorreram apenas em áreas onde a vegetação era baixa, como pradarias e pastagens. Eles descobriram que o uso da TIV em áreas de vegetação densa ou alta, como nas áreas de floresta, produziu resultados menos satisfatórios.

Coalas (*Phascolarctos cinereus*) também são difíceis de pesquisar na natureza devido ao seu comportamento críptico, hábitos noturnos arbóreos e distribuição desigual. Corcoran et al. (2019) utilizaram levantamentos de coalas em Queensland, na Austrália, para examinar se drones equipados com câmeras termográficas, juntamente com um algoritmo para processamento automatizado das imagens, poderiam produzir melhores resultados. Relataram taxas de detecção de 78% a 100%, que se comparam favoravelmente em relação aos 60% a 75% estimados por pesquisas visuais. Também fizeram sugestões úteis para treinar o algoritmo para melhorar a detecção e eliminar falsos positivos. Em New South Wales, Austrália, Witt et al. (2020) compararam levantamentos feitos por drones equipados com imagens térmicas com levantamentos feitos com holofotes sistemáticos e observadores humanos usando a técnica de avaliação pontual para estimar o número de coalas. Os resultados dos drones equipados com termografia superaram a análise pontual, mas não diferiram significativamente dos resultados dos holofotes. Eles concluíram que, como o uso de imagens térmicas via drones requer menos esforço do que em outras técnicas, é uma alternativa promissora aos métodos atuais. Os autores afirmaram que mais investimentos nessa tecnologia seriam importantes para estudar o comportamento e as populações de coalas.

Os morcegos geralmente são pesquisados à noite e os métodos de levantamento devem levar em consideração os seguintes fatos: (1) alguns morcegos não utilizam a ecolocalização, (2) alguns morcegos têm vocalizações semelhantes e (3) alguns são semelhantes na aparência. Darras et al. (2022) desenvolveram um método versátil que combina imagens térmicas, imagens visuais de infravermelho próximo e gravação de ultrassom. Eles detectaram morcegos ecolocalizadores e não ecolocalizadores, mas não foram capazes de discriminar no nível da espécie sem o trabalho adicional de verificar manualmente as chaves de identificação. No entanto, acreditam que esse é o primeiro método descrito que pode detectar morcegos que não estão utilizando ecolocalização tão bem quanto aqueles que estão.

McCarthy et al. (2021) utilizaram câmeras termográficas montadas em drones para avaliar o número de uma espécie de morcego na Austrália, a raposa-voadora-de-cabeça-cinza (*Pteropus poliocephalus*). Esses animais são noturnos, mas formam grandes grupos que ficam abrigados durante o dia, onde podem ser contados. Os autores desenvolveram uma técnica de criação de ortomosaicos térmicos a partir de muitas imagens estáticas "costuradas" para obter imagens dos ninhos das raposas voadoras. Eles também usaram visão computacional e aprendizado de máquina para contar as raposas voadoras em cada imagem e compararam isso com contagens das imagens feitas por humanos e com contagens das raposas voadoras feitas por humanos no solo. Os resultados obtidos a partir de todos os métodos foram semelhantes, mostrando que imagens térmicas feitas com drones, juntamente com identificação automatizada, podem fornecer boas estimativas das populações de raposas voadoras e economizar muitas horas de trabalho humano em contagens manuais.

Underwood et al. (2022) realizaram uma comparação entre imagens térmicas portáteis e holofotes para detectar seis espécies de mamíferos noturnos arborícolas em áreas de floresta tropical da Austrália. Eles descobriram que a técnica do holofote subestimou o número total de cada espécie em pelo menos 33% quando comparado à imagem térmica, e concluíram que a TIV tem potencial para ser uma ferramenta importante para uso nesse tipo de ambiente. No entanto, nem todos os estudos foram

conclusivos. McGregor e et al. (2021) monitoraram uma variedade de pequenos mamíferos noturnos na Austrália, como bettonias, bilbies, coelhos e gatos selvagens e encontraram um aumento de 30% na detecção usando a TIV, em comparação ao uso de holofotes, mas apenas em temperaturas abaixo de 30 graus Celsius. Eles concluíram que a técnica do holofote pode ser tão precisa quanto em faixas de temperatura mais altas. Vinson et al. (2020) compararam o uso de holofotes e de TIV para detectar o planador-maior (*Petauroides volans*) — um marsupial arbóreo noturno — na Austrália, e descobriram que, embora a TIV tenha mostrado alguma melhora em relação ao uso de holofotes, o aumento nos números detectados não foi estatisticamente significativo.

Os hábitos noturnos não são a única razão pela qual os animais podem ser difíceis de detectar por meios visuais. Animais que exibem coloração críptica, como a camuflagem, ou comportamento críptico, como se esconder ou “congelar” quando perturbados, também representam desafios durante pesquisas visuais. Filhotes de lebre-comum (*Lepus europaeus*) são um exemplo: são pequenos em tamanho, se misturam com o fundo e permanecem imóveis durante grande parte do dia, tornando-os particularmente difíceis de detectar. Karp (2020) fez um levantamento desses animais, comparando as taxas de detecção de câmeras termográficas portáteis e montadas em drones com as de um cão detector de animais selvagens, em ambientes com diferentes densidades de vegetação. Seus resultados mostraram que as câmeras termográficas portáteis, usadas a pé e na traseira de um caminhão lento, tiveram melhor desempenho onde havia pouca cobertura vegetal ou nenhuma. Os drones forneceram os melhores resultados quando a vegetação era de densidade média, mas quando a cobertura vegetal era densa, a TIV não foi útil porque a vegetação bloqueou a detecção da assinatura de calor. A autora concluiu, assim como Bearman-Brown et al. (2020) acima, que a TIV representa uma grande promessa para detectar espécies crípticas em áreas onde a cobertura do solo não é muito densa, mas outros métodos são necessários para a detecção em vegetação densa.

Medir a abundância de uma espécie pela contagem de tocas não é confiável porque muitas vezes é difícil determinar se a toca está “ativa” ou não, ou atualmente ocupada (Augusteyn et al. 2020). Muito pouco trabalho foi realizado sobre o uso de imagens térmicas para detectar animais escavadores, mas, em um estudo recente que os autores acreditam ser o primeiro desse tipo, Cox et al. (2021) estudaram as tocas de coelhos-europeus (*Oryctolagus cuniculus*) utilizando câmeras térmicas montadas em drones. As imagens térmicas têm a capacidade de detectar tocas ativas a partir do calor dos animais dentro delas e, como esse estudo mostrou, também podem detectar tocas através da vegetação que as teriam escondido de pesquisas visuais. Embora a abundância de coelhos não possa ser medida de forma confiável utilizando-se as imagens térmicas (pois não é possível detectar quantos animais estão em cada toca), a TIV mostrou-se um método útil para contagem de tocas ativas em áreas com vegetação. Esse estudo também comparou os resultados do uso de câmeras térmicas de nível profissional com as de consumo, mostrando que as câmeras de nível profissional produziram resultados mais precisos, mas obviamente são mais caras, aumentando o custo das pesquisas.

## Aves

As aves são difíceis de serem contadas durante o vôo, e muitas vezes são contadas durante a época de reprodução, contando ninhos. Entretanto, usar observadores humanos para fazer isso é demorado e existe o risco de causar perturbação nas aves nidificantes. Embora uma revisão sistemática de Mulero-Pázmány et al. (2017) tenha mostrado que as aves eram os animais mais propensos a serem perturbados por drones, vários estudos recentes mostraram que os drones criam muito menos perturbações do que levantamentos terrestres que utilizam observadores humanos. Scholten et al. (2019) pesquisaram ninhos de pardais-do-campo (*Spizella pusilla*) em Michigan, EUA. Os ninhos, que são feitos no chão em pastagens, foram contados com levantamentos feitos a partir do solo e com drones equipados com termografia. Embora

não houvesse diferença significativa entre os dois métodos em relação ao número de ninhos contados, os drones termicamente equipados realizaram os levantamentos muito mais rapidamente e com menos perturbação do que os pesquisadores terrestres. Os autores expressaram a esperança de que os avanços na tecnologia de drones e de câmeras térmicas possam, eventualmente, significar que pesquisas de solo invasivas não serão mais necessárias. Santangeli et al. (2020) obtiveram bons resultados utilizando drones equipados termicamente juntamente com IA semiautomática para localizar os ninhos de quero-queros (*Vanellus vanellus*), uma ave que nidifica no solo, em terras agrícolas na Finlândia. Os autores acreditam que imagens térmicas feitas por drones e inteligência artificial são o caminho a seguir, e que esses métodos devem ser desenvolvidos. Também observaram que os drones estão sendo cada vez mais usados na agricultura e que sistemas automatizados de detecção de ninhos como este, uma vez desenvolvidos e totalmente automatizados, poderiam ser integrados à tecnologia utilizada para gerenciamento de campo para ajudar na proteção dos ninhos.

McKellar et al. (2021) testaram uma câmera visual e térmica dupla montada em um drone para fazer o levantamento de pássaros-pretos-soldados em Saskatchewan, Canadá. Os métodos anteriores mostraram-se insatisfatórios para a contagem de múltiplas espécies (nesse estudo, de mergulhões, garças e andorinhas-do-mar) sem perturbações. A análise das imagens visuais e térmicas provou ser tão eficiente quanto as pesquisas de solo, e uma avaliação do comportamento das aves antes, durante e depois dos voos dos drones mostrou que havia muito menos perturbações sobre as aves nidificantes. As aves são frequentemente agrupadas em menos locais quando se empoleiram à noite, possivelmente tornando-as mais fáceis de contá-las. Para testar isso, Mitchell & Clarke (2019) investigaram o uso de câmeras térmicas à noite em florestas no sudeste da Austrália e compararam os resultados com aqueles obtidos por pesquisadores humanos durante o dia. Os resultados das pesquisas feitas com TIV foram inferiores aos dos observadores humanos e os autores acreditam que outras pistas, como movimento e vocalizações, permitiram aos observadores localizar mais pássaros durante o dia do que as câmeras térmicas à noite.

## Animais ectotérmicos

A imagem térmica tem sido utilizada principalmente com animais endotérmicos, como mamíferos e aves, porque eles produzem calor independentemente de seu ambiente. Animais ectotérmicos, como répteis e insetos, não conseguem regular internamente a temperatura corporal; eles usam seu ambiente externo para fornecer calor e resfriamento. Isso os torna muito difíceis de distinguir da temperatura de fundo em uma imagem térmica. Embora a imagem termográfica tenha sido utilizada para estudar mudanças térmicas em répteis como lagartos (ver por exemplo Barroso et al. 2016, Barroso et al. 2020, Chukwuka et al. 2019), ela não foi utilizada como uma ferramenta para fazer o levantamento de populações. No entanto, um pequeno número de estudos foi realizado fazendo-se o levantamento de ninhos de zangões e vespas, que podem produzir calor, e também de alguns insetos.

Os ninhos de abelhas silvestres são normalmente encontrados por pesquisadores em busca de sinais de atividade, mas as taxas de detecção são baixas e novas técnicas com maior precisão estão sendo procuradas para auxiliar sua conservação. Roberts & Osborne (2019) pesquisaram ninhos de abelhas selvagens (*Bombus spp.*) usando câmeras portáteis de imagens térmicas, mas descobriu que não houve melhora nas taxas de detecção em relação a observadores humanos fazendo pesquisas com transectos. Um dos principais problemas que eles destacaram foi o estreito campo de visão das câmeras em comparação com o dos observadores humanos. Isso significava que muitos locais de atividade de abelhas, geralmente ninhos, que foram captados pela visão periférica de um observador humano, foram perdidos pelas câmeras térmicas. Propuseram então pesquisas futuras usando câmeras com um campo de visão mais amplo, mas as desse tipo disponíveis no momento ainda são mais estreitas do que as de um pesquisador humano.

Como as vespas (*Vespa spp.*) regulam a temperatura de seus ninhos, Lioy et al. (2021) investigaram se imagens térmicas, sozinhas ou em conjunto com outras técnicas de pesquisa, poderiam ser uma tecnologia útil para detectar ninhos de vespas asiáticas de patas amarelas (*Vespa velutina*), uma espécie não nativa da Europa que é uma

ameaça às abelhas e outros insetos nativos. As vespas constroem ninhos no alto das copas das árvores, de modo que as técnicas tradicionais de rastreamento e os métodos tecnológicos mais recentes, como rastreamento por rádio e radar harmônico, têm desvantagens. Eles descobriram que as imagens térmicas obtidas do solo detectaram bem os ninhos onde havia pouca obstrução pela copa das árvores, mas em áreas de copa espessa, as taxas de detecção foram reduzidas. A temperatura ambiente também desempenha um papel importante na precisão da detecção, que foi maior antes do nascer do sol quando a temperatura ambiente estava baixa.

Liu et al. (2021) testaram a TIV com a mosca-da-lanterna (*Lycorma delicatula White*), uma espécie não nativa da América do Norte. Diferentemente dos vaga-lumes, e ao contrário de seu nome comum, elas não produzem luz visível e, portanto, seus números não podem ser estimados dessa forma. No entanto, elas produzem calor, embora o mecanismo pelo qual o fazem não seja claro. Os autores deste estudo acreditam que isso tem a ver com a alimentação e com a circulação da hemolinfa. Eles descobriram que as câmeras portáteis de imagens térmicas poderiam detectá-las contra a casca das árvores e acreditam que a TIV se mostra promissora como um novo método de detecção precoce da presença dessa espécie.

## 2. O uso de termografia infravermelha (TIV) para detectar doenças e lesões em animais

### Como a TIV pode detectar doenças e lesões?

Mudanças na temperatura corporal devido a inflamação ou febre são frequentemente a primeira indicação da presença de doença ou lesão (South et al. 2020). A resposta inicial ao dano tecidual geralmente é a inflamação aguda, caracterizada pela produção de calor em uma área localizada, e isso pode indicar doença ou lesão (Avni-Magen et al. 2017). A inflamação localizada também pode se tornar crônica se, por exemplo, uma ferida não cicatrizar adequadamente. A febre

geralmente é um aumento da temperatura que afeta todo o corpo e pode ser resultado de uma doença ou de uma lesão que foi infectada. É uma resposta para ajudar na sobrevivência; aumentar a temperatura corporal central pode ajudar a reduzir o número de patógenos presentes no corpo e proteger órgãos vitais (Mota-Rojas et al. 2021). Frequentemente, métodos que são invasivos e estressantes para o animal são usados para medir a temperatura corporal central, como termômetros retais ou sondas implantadas que monitoram constantemente a temperatura retal. A capacidade da TIV de detectar alterações na temperatura corporal da pele decorrentes de febre ou inflamação de forma remota e não invasiva significa que ela tem o potencial de ser uma ferramenta útil para a detecção de doenças e lesões em animais.

## Usando a TIV para detectar doenças e lesões em animais

Por causa dos interesses econômicos dos pecuaristas, grande parte das pesquisas foi realizada em animais explorados para alimentação. As vacas criadas para alimentação frequentemente sofrem de claudicação e mastite (uma doença do úbere), e essas são duas áreas onde pesquisas significativas foram realizadas (Dineen et al. 2021). A febre aftosa também é uma doença de grande preocupação, e a TIV demonstrou ser uma tecnologia de triagem promissora que pode identificar rapidamente os animais individualmente para testes adicionais (Niedbalski, 2016).

Um estudo recente de Noh et al. (2021) sugeriu que a TIV foi uma ferramenta útil para detectar a gripe aviária em galinhas e patos, e Williams (2019) relatou que a TIV se mostrou promissora na detecção de uma doença nos pés amplamente disseminada, conhecida como pododermatite, ou bumblefoot, em galinhas e perus. Na medicina veterinária, o uso da TIV está bem estabelecido, tendo sido utilizada por várias décadas em conjunto com outros métodos como a radiografia e a ultrassonografia. A medicina equina é uma área onde a imagem térmica é amplamente utilizada para detectar doenças e lesões nos membros, como osso lascado, abscessos de casco, laminite e tendinite (Kadunc et al. 2020; Tálás et al. 2017).

A pesquisa sobre o uso da TIV para detectar doenças e lesões em animais mantidos em zoológicos pode apontar para possíveis aplicações no meio selvagem. O trabalho de Avni-Magen et al. (2017) mostrou que a TIV foi útil na detecção clínica e pré-clínica de áreas de inflamação nos corpos de elefantes asiáticos (*Elephas maximus*) cativos. Embora a TIV não tenha mostrado aumentos de temperatura em canídeos e felídeos cativos em zoológicos brasileiros antes que sinais de lesões ou de doenças pudessem ser percebidos visualmente, os autores sugerem que a técnica tem potencial para ser usada na natureza, onde é mais difícil ver sinais visuais (Costa et al. 2020). Embora a TIV tenha se mostrado útil na detecção de pododermatite em galinhas e patos, os resultados de estudos em flamingos (*Phoenicopterus roseus*) (Tolpinrud et al. 2017) e em três espécies de pinguins (Duncan et al. 2016) para a mesma doença foram não tão encorajadores, descobrindo que a variação natural da temperatura era muito grande e que a TIV dava resultados não confiáveis.

Os primeiros trabalhos com animais na natureza foram realizados por Dunbar e colegas com veados-mulas (*Odocoileus hemionus*) (Dunbar et al. 2009) e guaxinins (*Procyon lotor*) (Dunbar e MacCarthy 2006). Esses estudos sugeriram que a TIV poderia detectar doenças como a raiva e a febre aftosa antes que os sinais clínicos fossem óbvios. Um problema com o uso de imagens térmicas é que pelos grossos ou penas podem dificultar a obtenção de medições precisas de temperatura, mas doenças que causam queda de pelo, como a sarna, podem ser detectadas com mais facilidade. Dois estudos em 2016 usaram a TIV para examinar a perda de calor em animais com sarna sarcóptica. Cruz et al. (2016) estudaram uma população de lobos (*Canis lupus*) que vive no Parque Nacional de Yellowstone, EUA, enquanto Simpson et al. (2016) estudaram vombates (*Vombatus ursinus*) que vivem no Parque Nacional Narawntapu, Tasmânia. Esses estudos sugeriram que as câmeras térmicas podem detectar a perda de calor a partir das áreas sem pelo. No entanto, em uma revisão da sarna sarcóptica em animais selvagens na América do Norte, Niedringhaus et al. (2019) concluíram que a utilidade da TIV na detecção de sarna é limitada, pois não consegue distinguir entre sarna e

alopecia e não pode ser usada para determinar qual espécie de ácaro está infectando o animal e, portanto, qual tipo de tratamento é necessário.



Fig. 4. Essa imagem mostra o calor irradiando de uma área onde houve perda de pelo em um lobo. “Infrared Wolves”, U.S. Geological Survey, CC-BY-2.0 via Wikimedia Commons

Um dos principais sintomas em porcos-espinhos (*Erinaceus europaeus*) que estão doentes ou feridos é a hipotermia, juntamente com infestação de moscas e desidratação. A hipotermia geralmente é diagnosticada pela equipe do centro de resgate usando toque e dicas a partir do comportamento, mas essas são obviamente subjetivas. Sul et al. (2020) examinaram o uso da TIV para detectar e estabelecer o nível de hipotermia e descobriram que ela forneceu maior precisão do que a avaliação da equipe e foi tão precisa quanto medir a temperatura retal. Embora esse estudo tenha sido realizado em porcos-espinhos que chegaram a centros de resgate, a natureza remota da TIV pode torná-la útil para detectar porcos-espinhos na natureza que estão abaixo da temperatura normal e precisam de tratamento.

Schilling et al. (2021) revisaram vários métodos para diagnosticar e categorizar a hanseníase em esquilos vermelhos (*Sciurus vulgaris*), incluindo imagens térmicas. Observaram que em humanos com hanseníase as mãos apresentavam uma temperatura mais baixa do que o normal em imagens térmicas. Em esquilos vermelhos, no entanto, descobriram que as imagens térmicas foram interrompidas pela pelagem espessa e que as imagens térmicas obtidas não ajudaram no diagnóstico ou na categorização da hanseníase.

No ambiente marinho, Horton et al. (2019) usaram drones localizados na costa e equipados com câmeras TIV em uma amostra muito pequena de baleias jubarte (1 adulto e 1 filhote). As imagens foram analisadas para mostrar as temperaturas das nadadeiras, respiração, frequência cardíaca e comportamento. Não existe atualmente uma técnica não invasiva para monitorar a saúde dos cetáceos selvagens. Embora uma pequena amostra tenha sido usada, essa pesquisa demonstrou o uso de TIV no ambiente marinho para esse propósito, e os pesquisadores sugeriram usos futuros da tecnologia na quantificação das respostas dos cetáceos às mudanças ambientais, como o aquecimento dos oceanos ou perturbações causadas pelos humanos. Existem dúvidas quanto ao seu uso prático com animais que se movem rapidamente em mar aberto, mas há potencial para ser usada para avaliar a saúde de cetáceos que não se movem rapidamente, como indivíduos doentes, feridos, encalhados ou emaranhados.

Um interessante estudo de Hayman et al. (2017) utilizou câmeras TIV para gravar vídeos térmicos de duas espécies de morcegos, morcego marrom de pequeno porte (*Myotis lucifugus*) e morcegos-de-Indiana (*M. sodalis*), hibernando em cavernas durante vários invernos. Descobriram que os indivíduos com a doença da síndrome do nariz branco saíam da hibernação com mais frequência e gastavam as reservas de energia vital. Esse estudo indica como, além de monitorar mudanças de temperatura, as imagens térmicas também podem ser usadas para monitorar mudanças de comportamento, que muitas vezes podem ser um indicador de doença ou lesão. As câmeras de imagens térmicas são particularmente úteis para estudar espécies noturnas e espécies que vivem em áreas inacessíveis, como morcegos. Esse estudo também

mostrou que as câmeras TIV podem ser usadas por longos períodos na natureza para construir uma imagem do bem-estar de uma população.

### 3. Usando a termografia infravermelha para detectar e medir o estresse em animais selvagens

Os animais selvagens estão sujeitos a muitos estressores, como condições climáticas adversas, reduções na disponibilidade de alimentos, agressão de membros da mesma espécie e serem caçados por predadores. Existem também estressores mais recentes, como mudanças climáticas, ruído antropogênico, perda de habitat ou aumento da presença humana, que podem estar causando estresse crônico em populações selvagens (Kaisin et al. 2021). Ser capaz de detectar e medir o estresse em animais selvagens pode nos permitir melhorar o bem-estar desses animais, mas é um desafio alcançar resultados confiáveis em ambientes selvagens (Jerem et al. 2015).

#### Como a TIV pode detectar o estresse?

O estresse tem um efeito enorme no corpo de um animal. Os hormônios são liberados na corrente sanguínea para preparar o corpo para “lutar ou fugir” e direcionar a circulação sanguínea e a energia para os órgãos vitais e músculos. Essa resposta é crítica para a sobrevivência de um animal, permitindo que responda aos vários estressores que o afetarão durante sua vida. Os animais geralmente se recuperam totalmente de um curto episódio de estresse agudo, mas episódios repetidos ou estresse de longo prazo que se torna crônico podem causar sérios problemas de saúde. Nos vertebrados, o estresse causa alterações no sistema nervoso simpático, ativando o eixo HPA (Hipotálamo-Pituitária-Adrenal), que libera glicocorticoides na corrente sanguínea, e o sistema SAM (simpático-adrenal-medular), que libera catecolaminas (Travain & Valsecchi 2021). As catecolaminas geralmente têm vida curta, enquanto os glicocorticóides persistem por mais tempo no corpo, sendo o nível destes últimos

aquilo que é mais usado como medida de estresse. Os invertebrados têm sistemas nervosos mais simples, mas há uma liberação semelhante de hormônios em resposta ao estresse (Perry & Baciadonna 2017).

A liberação de hormônios do estresse na corrente sanguínea, conforme descrito acima, causa muitas mudanças no corpo de um animal, incluindo alterações no fluxo sanguíneo. A vasoconstrição (o estreitamento dos vasos sanguíneos superficiais para direcionar o fluxo sanguíneo para os órgãos vitais e prevenir a perda de sangue em caso de lesão) pode causar o resfriamento da temperatura da superfície da pele. A vasodilatação também pode ocorrer, na qual os vasos sanguíneos se expandem para perder calor rapidamente para resfriar o corpo (Herborn et al. 2018). Essas mudanças na temperatura da pele ou em outras áreas de superfície podem ser detectadas pela TIV.

## Usando a TIV para detectar e medir o estresse em animais selvagens

Grande parte da pesquisa sobre o uso de TIV para detectar estresse foi realizada com animais em situações de cativeiro, onde as condições experimentais são rigorosamente controladas. Vários estudos com animais selvagens foram conduzidos com aves e, em espécies de aves, a hipotermia (resfriamento) em resposta ao estresse é mais comum do que a hipertermia (Nord & Folkow 2019; Jerem et al. 2019). Medir o estresse em animais selvagens que vivem fora do controle humano usando TIV é difícil porque eles estão sujeitos a flutuações de temperatura no ambiente (Herborn et al. 2018). No entanto, os resultados desse estudo mostraram que o padrão de aquecimento ou resfriamento da pele ao redor da região ocular (periorbital) causado pelo estresse é característico, e pode ser diferenciado daquele causado por mudanças na temperatura do ambiente ao redor. Da mesma forma, Ouyang et al. (2020) realizaram vários experimentos prejudiciais às aves que estavam estudando. Embora não endossemos os métodos utilizados, podemos aprender com os resultados. Em um experimento, eles mostraram que o resfriamento da área periorbital em pardais (*Passer domesticus*)

podia ser detectado pela TIV quando eles eram expostos a um estressor, embora fossem pássaros selvagens que haviam sido capturados alguns meses antes dos experimentos e habituados a um ambiente fechado. Winder et al. (2020) mediram as mudanças na temperatura do bico em chapins-reais (*Parus major*) selvagens e em cativeiro durante períodos de privação de alimentos. Para o estudo sobre animais na natureza, foi realizado um estudo igualmente invasivo e prejudicial no qual as aves em uma área de floresta na Escócia foram inicialmente capturadas e marcadas com etiquetas PIT para que os indivíduos pudessem ser identificados. Elas receberam comida por meio de comedouros, que depois foram reduzidos e em seguida aumentados novamente. Seus resultados sugerem que, durante o período de privação alimentar, o resfriamento do bico pode ser detectado pela TIV. A temperatura do bico normalizou quando a comida estava disponível mais uma vez. O trabalho de Tabh et al. (2021) sobre pombos domésticos (*Columba livia domestica*), embora seja sobre aves cativas em vez de selvagens, sugere que o bico é uma área alvo melhor para a TIV do que a área dos olhos, pois a última produz mais erros devido à dificuldade de capturar a orientação correta da cabeça para a câmera.

Há pouca pesquisa sobre o uso da TIV para detectar estresse em mamíferos selvagens. Dezechache et al. (2017) seguiram um grande grupo de chimpanzés-orientais (*Pan troglodytes schweinfurthii*) que eram tolerantes a observadores em um raio de 10m. Os cientistas usaram a TIV para detectar mudanças na temperatura do nariz e da orelha dos chimpanzés em resposta às vocalizações de outros indivíduos do grupo. Seus resultados sugerem que a temperatura nasal cai quando os chimpanzés ouvem vocalizações aversivas que podem causar estresse, como uivos, gritos ou choramingos. Quedas de temperatura não foram tão proeminentes quando as vocalizações eram de natureza neutra. Uivos agressivos de outro chimpanzé, considerados a vocalização mais estressante, produziram a maior queda na temperatura do nariz. A região da orelha não apresentou as mesmas quedas de temperatura quando as vocalizações aversivas foram ouvidas. Schraft e Clark (2017) estudaram os ratos-cangurus- de-Merriams (*Dipodomys merriami*) em busca de mudanças na temperatura que seus predadores, cascavéis-de-

Mojave (*Crotalus scutulatus*), podem usar para localizá-los (embora nenhuma predação tenha sido permitida). Os autores do estudo registraram as interações usando a TIV. Embora o objetivo da pesquisa não fosse especificamente detectar o estresse, podemos supor que esses encontros foram estressantes para os ratos-cangurus. As imagens obtidas mostraram uma diminuição significativa da temperatura do focinho e das patas traseiras durante os encontros.

## Vantagens e limitações

A pesquisa detalhada aqui mostrou muitas razões pelas quais a TIV é uma ferramenta útil para detectar animais e pesquisá-los quanto a doenças, lesões e estresse, mas, como acontece com qualquer tecnologia, assim como tem vantagens, também tem limitações.

A natureza remota e não invasiva da imagem térmica torna-a particularmente útil para reduzir a perturbação durante o levantamento de animais selvagens e, como vimos, o advento dos drones permite que os pesquisadores levem essa tecnologia a áreas difíceis, perigosas ou inacessíveis a observadores humanos. O fato de não depender de sensores visuais, mas do calor irradiado pelos organismos vivos, torna-a ideal para o levantamento de espécies de difícil visualização, como animais noturnos, crípticos e escavadores. A detecção de animais à noite ou com pouca luz é outra grande vantagem sobre os sistemas visuais: a TIV não sofre viés de visibilidade, onde os níveis de detecção são reduzidos com a diminuição dos níveis de luz, como acontece nos sistemas visuais. Mostrou-se útil com uma ampla gama de espécies. Os autores de alguns dos estudos aqui descritos observaram que, embora o equipamento possa ser caro, as pesquisas com a TIV requerem menos pessoas e podem ser realizadas com mais frequência do que seria possível com outros métodos, tornando-a econômica. Os sistemas de câmeras térmicas estão se tornando menores, mais leves e mais baratos à medida que a tecnologia evolui.

No entanto, as condições ambientais são difíceis de controlar em situações no meio selvagem e podem afetar as imagens térmicas, resultando em algumas desvantagens no uso da TIV. Um desses problemas é a precisão reduzida quando não há contraste suficiente entre a temperatura do ambiente de fundo e a do corpo do animal, o que significa que os resultados podem variar dependendo da hora do dia em que a pesquisa foi realizada ou do clima. Os melhores resultados são obtidos em dias nublados e no início da manhã quando há o maior contraste entre o animal e a temperatura do ambiente (Oishi et al. 2018). Em certos ambientes, pode haver épocas do ano em que a geração de imagens térmicas não é possível devido às temperaturas ambientes (McGregor et al. 2021). As condições meteorológicas, como neblina e umidade, também podem tornar os resultados não confiáveis. O clima também influencia na transmissão de calor do animal: a luz do sol aquece a pele, enquanto a chuva e o movimento do ar a esfriam. A atividade dos animais também pode impactar os resultados, pois o esforço físico transmite calor para a pele dos músculos, elevando a temperatura, enquanto deitar em solo fresco ou úmido reduz a temperatura da pele (Travain & Valsecchi 2021).

A densidade da vegetação também pode afetar os resultados. Embora a imagem térmica possa detectar animais escondidos atrás da vegetação até certo ponto, as câmeras não podem detectar a radiação térmica de um animal através da vegetação densa. Outro problema é a identificação de espécies, que pode ser difícil se houver animais de formas e tamanhos corporais semelhantes presentes na mesma área (Goodenough et al. 2018). A TIV geralmente funciona bem junto com outras tecnologias, como fotografia ou videografia, que podem ajudar a identificar espécies e podem melhorar os resultados dessas tecnologias em comparação a quando usadas isoladamente (Kays et al. 2019).

Os estudos aqui descritos sugerem que a TIV é útil na detecção de doenças e lesões em animais mas, embora temperaturas elevadas ou alterações na pele possam ser detectadas, nem sempre é óbvio nas imagens térmicas qual é a natureza da doença ou lesão. A TIV pode identificar áreas de preocupação, mas não é muito útil para identificar a doença ou lesão exata que está presente (Talas et al. 2017). Como mostraram

Niedringhaus et al. (2019), que estudaram a sarna, a TIV não consegue distinguir entre diferentes tipos de condição da pele e isso torna difícil saber como tratá-la. A TIV demonstrou ser um método que pode fazer leituras por longos períodos de tempo na natureza e construir uma boa imagem da presença de doenças em uma população (Hayman et al. 2017). No entanto, identificar indivíduos específicos para captura e tratamento subsequentes é muito mais difícil na natureza do que com animais em cativeiro, e pode ser necessário usar outras tecnologias ou técnicas, como a identificação por RFID (identificação por radiofrequência), identificação por vídeo ou armadilhas, a fim de identificar os indivíduos que precisam de tratamento.

Os métodos atuais para detectar o estresse, como a coleta de amostras de sangue ou o uso de termômetros retais, são extremamente invasivos e podem aumentar os níveis de estresse. A natureza não invasiva da TIV torna-a uma melhoria nesses métodos (Dineen et al. 2021). No entanto, embora a TIV possa identificar que os animais em uma população estão estressados, a menos que o estressor seja óbvio, pode ser difícil identificar o que está causando o estresse. Vários dos estudos aqui referidos, embora abordem espécies selvagens, foram realizados em condições experimentais, usando iscas alimentares ou captura temporária para obtenção de boas imagens térmicas, e estavam a analisar um estressor pré-definido que os investigadores introduziram. Além disso, como Herborn et al. (2018) observaram, para detectar anormalidades, os padrões térmicos naturais para as espécies em estudo precisariam ser estabelecidos para ajudar na comparação. Ouyang et al. (2020) concluíram que a TIV é uma ferramenta útil para detectar o estresse agudo, mas não funciona tão eficientemente para medir o estresse crônico. Os animais selvagens estão adaptados para lidar com curtos períodos de estresse agudo e geralmente se recuperam totalmente, mas o estresse crônico pode ser um problema maior e causar doenças e sofrimento.

A TIV parece ter mais potencial quando usada em conjunto com outros métodos, sejam técnicas tradicionais, como o uso de holofotes, ou soluções tecnológicas, como sensores acústicos ou câmeras com sensores RGB. Ela pode trazer maior precisão e economia para o levantamento e monitoramento de animais selvagens. O advento de

câmeras multissistema, que utilizam uma variedade de sensores, incluindo a TIV e montados em drones, aponta o caminho para o futuro dessa tecnologia.



*Fig. 5. Drone carregando câmera termográfica*

## Como a TIV pode ajudar os animais silvestres?

### *Mitigação de danos naturais*

Grande parte da pesquisa abordada aqui sobre o uso da TIV para localizar animais selvagens e detectar doenças, ferimentos e estresse foi realizada com propósitos conservacionistas, e não com o objetivo de ajudar os animais selvagens que padecem de danos naturais. Entretanto, os exemplos destacados aqui mostram que as imagens térmicas têm potencial para mitigar esse sofrimento e que algumas aplicações dela já estão sendo colocadas em prática.

### *Detecção de animais em desastres naturais*

Muitas das técnicas exploradas aqui para localizar animais selvagens também poderiam ser usadas para encontrar animais presos ou encalhados devido a desastres naturais, como inundações, incêndios, secas, terremotos e erupções vulcânicas, da mesma forma pela qual esses sistemas estão sendo usados agora para detectar humanos em situações semelhantes. Os animais podem ser localizados e resgatados a pé ou por veículos, ou, se não puderem ser alcançados, comida e água podem ser jogadas para eles por drones ou aeronaves. O uso de drones termicamente equipados para encontrar e resgatar animais em desastres naturais já está começando a acontecer, como mostram relatórios recentes (AFP 2021; Ross 2021). Os animais também podem ser identificados pelos mesmos meios em períodos de clima extremo, como neve profunda, para que comida ou abrigo possam ser deixados nas áreas certas, embora a TIV seja prejudicada por algumas condições climáticas, como neblina ou chuva forte.

### *Detectando a presença de doença, lesão ou estresse*

Grande parte da pesquisa sobre isso foi realizada em animais domésticos e em cativeiro para pesquisa biológica ou para o avanço da medicina veterinária, mas a TIV pode ser usada para detectar a presença de doenças ou estresse em populações de animais selvagens, para que a medicação possa ser fornecida ou os estressores removidos. Instâncias baixas de doenças encontradas em uma população podem ser monitoradas para ver se a doença se espalha e se uma intervenção é necessária. A determinação precoce da presença de inflamação pode ajudar a identificar indivíduos com alto risco de adoecer (Rekant et al. 2016).

Apesar de South et al. (2020) postularem que a TIV seria útil para detectar ouriços na natureza que estão abaixo da temperatura normal para que pudessem ser capturados e receberem atenção veterinária, com espécies de movimento mais rápido isso não seria tão fácil. No ambiente marinho, Horton et al. (2019) vêem potencial para

seu uso na avaliação da saúde de cetáceos doentes, feridos, encalhados ou emaranhados que podem ser alcançados, mas não daqueles que se movem rapidamente em oceano aberto. Se imagens térmicas estiverem sendo usadas regularmente para monitorar uma população de animais, quaisquer flutuações nos resultados (como mudanças em número, comportamento ou temperatura dos animais ou do ambiente) podem servir como um alerta precoce de que um problema está surgindo, o que pode então ser monitorado e/ou investigado em mais detalhes usando outras técnicas. Isso foi destacado pelo estudo de lobos realizado por Cross et al. (2016) mostrando que os lobos com sarna avançada eram mais ativos durante o dia e menos propensos a deitarem no chão. Da mesma forma, um estudo de longo prazo de Hayman et al. (2017) mostrou que morcegos de duas espécies distintas saíram da hibernação com mais frequência quando foram acometidos pela síndrome do nariz branco.

Embora a pesquisa tenha mostrado que a TIV pode detectar o estresse em indivíduos de várias espécies, como Jerem et al. (2015) apontaram, é muito difícil obter resultados confiáveis na natureza. Apesar de Winder et al. (2020) terem mostrado que o estresse causado pela privação de alimentos pode ser detectado por imagens térmicas sob condições controladas, seria muito difícil na natureza atribuir o estresse a qualquer estressor específico. No entanto, outros meios de levantamento dos animais e da área podem ser capazes de identificar o motivo da resposta ao estresse captado por imagens térmicas.

## TIV e danos antropogênicos (causados por humanos)

Embora esta revisão considere principalmente os danos naturais aos animais selvagens, vale a pena mencionar que a TIV também está sendo usada de forma a contribuir para causar, e também para mitigar, alguns danos causados por humanos.

A utilidade da TIV na localização de animais significa que ela também é útil para quem deseja prejudicar os animais. As câmeras térmicas são agora menores, mais leves e mais baratas do que jamais foram, e podem ser instaladas em binóculos, lunetas e em

lunetas para armas. Elas agora são usadas rotineiramente para a caça e podem permitir a caça noturna, quando muitas presas estão ativas. Elas também permitem que caçadores localizem animais com coloração críptica com mais precisão do que com a visão. As câmeras térmicas também estão ajudando os caçadores a seguir e a localizar animais feridos que fogem quando atingidos.

No entanto, a TIV também está sendo usada para mitigar alguns danos antropogênicos, como desastres criados por humanos, conflitos entre humanos e animais selvagens, caça furtiva e o perigo para os animais decorrente de atividades humanas, como em grandes fazendas mecanizadas de vegetais e perto de aeroportos.

Conforme discutido acima, drones equipados com câmeras termográficas estão começando a ser usados para identificar animais presos ou encalhados em áreas de desastres naturais, e isso também se aplica a desastres causados por humanos, como colapsos de barragens ou desabamentos de prédios. Conflitos entre humanos e animais selvagens podem ser reduzidos detectando caçadores furtivos ou detectando animais que se aproximam de áreas de atividade humana, e a TIV está desempenhando um papel nisso. Alguns dos estudos sobre detecção de animais usando TIV foram feitos com animais que são indesejados em áreas como terras agrícolas ou áreas residenciais (Oishi et al. 2018; Kim et al. 2021). Um projeto atual da Iniciativa Arribada e de instituições parceiras está usando imagens térmicas para detectar a presença de elefantes em áreas de conflito na Índia, e eles construíram uma biblioteca de imagens térmicas de elefantes para treinar tanto humanos quanto software de reconhecimento computacional para reconhecê-los (Dangerfield 2020).

A detecção de caçadores furtivos geralmente é realizada patrulhando-se a pé ou em veículos, o que pode ser perigoso para os guardas florestais. Hart et al. (2015) testaram a TIV em comparação a patrulhas usando lanternas em uma reserva na África do Sul. Os resultados mostraram que a TIV pode detectar caçadores furtivos a uma distância muito maior do que os guardas florestais com lanternas. Os autores agora ensinam o uso dessa tecnologia aos guardas florestais e expandiram seu uso para os países

africanos vizinhos. Eles descobriram que os funcionários relatam sentir-se mais seguros e notaram uma redução na caça furtiva (Yaney-Kellar 2020).

Medolago et al. (2021) usaram câmeras termográficas portáteis para detectar aves em risco de colisão com aeronaves em um aeroporto no Brasil. Os levantamentos foram realizados tanto durante o dia quanto à noite e comparados com os métodos usuais de levantamento terrestre, como observação (durante o dia) e uso de holofotes (à noite). Eles descobriram que os levantamentos com as câmeras térmicas são muito mais rápidos, econômicos e muito mais eficientes, detectando cerca de nove vezes o número de aves observadas pelos outros métodos.

Milhares de animais são mortos a cada ano em fazendas quando atividades como arar e cortar são realizadas. Filhotes de corças (*Capreolus capreolus*) são animais que correm risco de se ferirem ou serem mortos pelo maquinário agrícola, pois se escondem na vegetação e “congelam” quando ameaçados. Outro exemplo é o abibe-comum (*Vanellus vanellus*), ave que nidifica frequentemente em terrenos agrícolas. Israel & Reinhard (2017) usaram drones equipados termicamente e equipados com vídeo para detectar ninhos de abibe-comum em terras agrícolas na Alemanha, para que pudessem ser marcados e evitados pelos agricultores ao arar. A detecção geralmente é feita por observadores a pé com binóculos, mas as aves adultas voam com a aproximação e pode ser difícil localizar o ninho. Os autores descobriram que os ninhos podem ser facilmente detectados usando a TIV durante períodos de céu nublado e ao entardecer, e os ninhos se destacam nas imagens térmicas com muito mais clareza do que nas imagens feitas com câmeras de vídeo. Cukor et al. (2019) testaram drones termicamente equipados para procurar filhotes de corça em terras agrícolas na República Tcheca e descobriram que essa técnica é muito útil para localizar filhotes em determinados momentos do dia, como no início da manhã, quando podem ser facilmente detectados pelas câmeras térmicas contra o ambiente de fundo, que é frio.

## 4. Pesquisas adicionais

A tecnologia de imagens térmicas está se desenvolvendo constantemente e haverá novos sistemas e técnicas no futuro que poderão ser testados com animais selvagens. Grande parte da pesquisa sobre localização e estimativa de populações de animais foi realizada sobre mamíferos de grande porte. Isso é compreensível, pois esses animais têm uma assinatura térmica maior que pode ser mais facilmente identificada nas imagens. No entanto, a TIV também mostrou ter potencial com mamíferos de pequeno porte, aves e insetos, e isso pode ser mais explorado. Mais pesquisas também precisam ser feitas sobre as assinaturas térmicas de animais de diferentes espécies, para que possam ser mais facilmente identificados nas imagens, bem como sobre a assinatura térmica normal de base de animais de diferentes espécies, para que anormalidades possam ser detectadas.

A pesquisa sobre o uso e sobre a utilidade do uso da TIV para detectar lesões e doenças é escassa e mais estudos precisam ser realizados em uma variedade de ambientes e com uma variedade de espécies selvagens. A pesquisa talvez devesse se concentrar em espécies noturnas ou difíceis de avaliar visualmente, pois a TIV é particularmente útil em situações como essas, onde outros métodos de avaliação podem ser difíceis de usar. A pesquisa sobre o uso de TIV para detectar estresse em animais selvagens ainda está em sua infância e, embora seja promissora em algumas áreas, os resultados são mistos. A imprevisibilidade das condições ambientais e os múltiplos estressores que os animais selvagens encontram podem dificultar a interpretação dos resultados. No entanto, o fato de ser um método remoto e não invasivo se presta ao uso com animais selvagens e seria uma ferramenta útil para ser adicionada aos métodos existentes. Mais pesquisas examinando tanto os aspectos práticos do uso de TIV na natureza quanto o que os resultados podem mostrar são necessários para que ela se torne um método bem estabelecido para detectar e medir o estresse.

Algumas das pesquisas aqui descritas foram realizadas em animais habituados a humanos, ou que foram incentivados a visitar a área onde as câmeras estavam localizadas por meio da colocação de comida. Mais pesquisas sobre populações verdadeiramente selvagens seriam úteis.

## Referências

- AFP (2021) “Drone rescue plan for dogs trapped by La Palma volcano”, *The Guardian*, October 20, <https://www.theguardian.com/world/2021/oct/20/drone-rescue-plan-for-dogs-trapped-by-la-palma-volcano>
- Augusteyn, J.; Pople, A. & Rich, M. (2020) “Evaluating the use of thermal imaging cameras to monitor the endangered greater bilby at Astrebla Downs National Park”, *Australian Mammalogy*, 42, pp. 329-340.
- Avni-Magen, N.; Zaken, S.; Kaufman, E. & Kelmer, G. (2017) “Use of infrared thermography in early diagnosis of pathologies in Asian elephants (*Elephas maximus*)”, *Israel Journal of Veterinary Medicine*, 72 (2), pp. 22-27, <https://www.ivis.org/library/israel-journal-of-veterinary-medicine/israel-journal-of-veterinary-medicine-vol-722-jun/use-of-infrared-thermography-early-diagnosis-of-pathologies-asian-elephants-elephas-maximus>
- Barroso, F. M.; Carretero, M. A.; Silva, F. & Sannolo, M. (2016) “Assessing the reliability of thermography to infer internal body temperatures of lizards”, *Journal of Thermal Biology*, 62, pp. 90-96.
- Barroso, F. M.; Riaño, G.; Sannolo, M.; Carretero, M. A. & Rato, C. (2020) “Evidence from *Tarentola mauritanica* (Gekkota: Phyllodactylidae) helps validate thermography as a tool to infer internal body temperatures of lizards”, *Journal of Thermal Biology*, 93, 102700.
- Bearman-Brown, L. E.; Wilson, L. E.; Evans, L. C. & Baker, P. J. (2020) “Comparing non-invasive surveying techniques for elusive, nocturnal mammals: A case study of the

- West European hedgehog (*Erinaceus europaeus*)". *Journal of Vertebrate Biology*, 69 (3), <https://doi.org/10.25225/jvb.20075>
- Beaver, J. T.; Baldwin, R. W.; Messinger, M.; Newbolt, C. H.; Ditchkoff, S. S. & Silman, M. R. (2020) "Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife", *Wildlife Society Bulletin*, 44, pp. 434-443.
- Bedson, C. P.; Thomas, L.; Wheeler, P. M.; Reid, N.; Harris, W. E.; Lloyd, H.; Mallon, D. & Preziosi, R. (2021) "Estimating density of mountain hares using distance sampling: A comparison of daylight visual surveys, night-time thermal imaging and camera traps", *Wildlife Biology*, 2021 (3), <https://doi.org/10.2981/wlb.00802>
- Bonnin, N.; Andel, A. C. van; Kerby, J. T.; Piel, A. K.; Pintea, L. & Wich, S. A. (2018) "Assessment of chimpanzee nest detectability in drone-acquired images", *Drones*, 2 (2), 17. <https://doi.org/10.3390/drones2020017>
- Bowen, C.; Reeve, N.; Pettinger, T. & Gurnell, J. (2020) "An evaluation of thermal infrared cameras for surveying hedgehogs in parkland habitats", *Mammalia*, 84, pp. 354-356.
- Bowler, M. T.; Tobler, M. W.; Endress, B. A.; Gilmore, M. P. & Anderson, M. J. (2017) "Estimating mammalian species richness and occupancy in tropical forest canopies with arboreal camera traps", *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3, pp. 146-157, <https://doi.org/10.1002/rse2.35>
- Burke, C.; Rashman, M. F.; Longmore, S. N.; Mcaree, O.; Glover-Kapfer, P.; Ancrenaz, M. & Wich, S. A. (2019) "Successful observation of orangutans in the wild with thermal-equipped drones", *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 7, pp. 235-257, <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0035>
- Bushaw, J. D.; Ringelman, K. M. & Rohwer, F. C. (2019) "Applications of unmanned aerial vehicles to survey mesocarnivores", *Drones*, 3 (1), <https://doi.org/10.3390/drones3010028>

- Chukwuka, C. O.; Virens, J. & Cree, A. (2019) "Accuracy of an inexpensive, compact infrared thermometer for measuring skin surface temperature of small lizards", *Journal of Thermal Biology*, 84, pp. 285-291.
- Cilulko, J.; Janiszewski, P.; Bogdaszewski, M. & Szczygielska, E. (2012) "Infrared thermal imaging in studies of wild animals", *European Journal of Wildlife Research*, 59, pp. 17-23, <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0688-1>
- Corcoran, E.; Denman, S.; Hanger, J.; Wilson, B. & Hamilton, G. (2019) "Automated detection of koalas using low-level aerial surveillance and machine learning", *Scientific Reports*, 9 (1), <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39917-5>
- Cox, T. E.; Matthews, R.; Halverson, G. & Morris, S. (2021) "Hot stuff in the bushes: Thermal imagers and the detection of burrows in vegetated sites", *Ecology and Evolution*, 11, pp. 6406-6414, <https://doi.org/10.1002/ece3.7491>
- Cross, P. C.; Almberg, E. S.; Haase, C. G.; Hudson, P. J.; Maloney, S. K.; Metz, M. C.; Munn, A. J.; Nugent, P.; Putzeys, O. & Stahler, D. R. (2016) "Energetic costs of mange in wolves estimated from infrared thermography", *Ecology*, 97, pp. 1938-1948.
- Cukor, J.; Bartoška, J.; Rohla, J.; Sova, J. & Machálek, A. (2019) "Use of aerial thermography to reduce mortality of roe deer fawns before harvest", *PeerJ*, 7, <https://doi.org/10.7717/peerj.6923>
- Costa, A. L. M. da; Rassy, F. B. & Cruz, J. B. da (2020) "Diagnostic applications of infrared thermography in captive Brazilian canids and felids", *Archives of Veterinary Science*, 25 (2), pp. 1-12, <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v25i2.71088>
- Dahlen, B. & Traeholt, C. (2018) "Successful aerial survey using thermal camera to detect wild orangutans in a fragmented landscape", *Journal of Indonesian Natural History*, 6 (2), pp. 12-23, <http://jinh.fmipa.unand.ac.id/index.php/jinh/article/view/126>
- Dangerfield, A. (2020) "Progress report – February 2020 –: Thermal imaging for human-wildlife conflict", *Arribada Initiative*,

<https://arribada.org/2020/02/17/progress-report-feburart-2020-thermal-imaging-for-human-wildlife-conflict/>

- Darras, K.; Yusti, E.; Knorr, A.; Huang, J. C. C. & Kartono, A. P. (2022) "Sampling flying bats with thermal and near-infrared imaging and ultrasound recording: hardware and workflow for bat point counts". *F1000Research*, 10, <https://doi.org/10.12688/f1000research.51195.2>
- Dezecache, G.; Zuberbühler, K.; Davila-Ross, M. & Dahl, C. D. (2017) "Skin temperature changes in wild chimpanzees upon hearing vocalizations of conspecifics", *Royal Society Open Science*, 4 (1), <https://doi.org/10.1098/rsos.160816>
- Dineen, M.; Mitchell, M.; Kuhla, B. & Danesh Mesgaran, S. (2021) "Body temperature and thermal imaging", in Mesgaran, S. D., Baumont, R., Munksgaard, L., Humphries, D., Kennedy, E., Dijkstra, J. & Kuhla, B. (eds) *Methods in cattle physiology and behaviour research – Recommendations from the SmartCow consortium*, Cologne: SmartCow Consortium, <http://dx.doi.org/10.5680/mcpb004>
- Dunbar, M. R.; Johnson, S. R.; Rhyan, J. C. & Mccollum, M. (2009) "Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (*Odocoileus hemionus*) experimentally infected with foot-and-mouth disease", *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 40, pp. 296-301.
- Dunbar, M. R. & Maccarthy, K. A. (2006) "Use of infrared thermography to detect signs of rabies infection in raccoons (*Procyon lotor*)", *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 37, pp. 518-523.
- Duncan, A. E.; Torgerson-White, L. L.; Allard, S. M. & Schneider, T. (2016) "An evaluation of infrared thermography for detection of bumblefoot (pododermatitis) in penguins", *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 47, pp. 474-485.
- Florko, K. R.; Carlyle, C. G.; Young, B. G.; Yurkowski, D. J.; Michel, C. & Ferguson, S. H. (2021) "Narwhal (*Monodon monoceros*) detection by infrared flukeprints from aerial survey imagery", *Ecosphere*, 12 (8), <https://doi.org/10.1638/2008-0087.1>

- Gentle, M.; Finch, N.; Speed, J. & Pople, A. (2018) "A comparison of unmanned aerial vehicles (drones) and manned helicopters for monitoring macropod populations", *Wildlife Research*, 45, pp. 586-594.
- Gooday, O. J.; Key, N.; Goldstien, S. & Zawar-Reza, P. (2018) "An assessment of thermal-image acquisition with an unmanned aerial vehicle (UAV) for direct counts of coastal marine mammals ashore", *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 6, pp. 100-108, <https://doi.org/10.1139/juvs-2016-0029>
- Goodenough, A. E.; Carpenter, W. S.; Mactavish, L.; Mactavish, D.; Theron, C. & Hart, A. G. (2018) "Empirically testing the effectiveness of thermal imaging as a tool for identification of large mammals in the African bushveldt", *African Journal of Ecology*, 56, pp. 51-62.
- Guazzo, R. A.; Weller, D. W.; Durban, J. W.; Gerald, L. & Hildebrand, J. A. (2019) "Migrating eastern North Pacific gray whale call and blow rates estimated from acoustic recordings, infrared camera video, and visual sightings", *Scientific Reports*, 9 (1), pp. 1-11, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49115-y>
- Hart, A. G.; Rolfe, R. N.; Dandy, S.; Stubbs, H.; Mactavish, D.; Mactavish, L. & Goodenough, A. E. (2015) "Can handheld thermal imaging technology improve detection of poachers in African bushveldt?", *PLOS ONE*, 10 (6), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131584>
- Hayman, D. T.; Cryan, P. M.; Fricker, P. D. & Dannemiller, N. G. (2017) "Long-term video surveillance and automated analyses reveal arousal patterns in groups of hibernating bats", *Methods in Ecology and Evolution*, 8, pp. 1813-1821, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12823>
- He, G.; Yang, H.; Pan, R.; Sun, Y.; Zheng, P.; Wang, J.; Jin, X.; Zhang, J.; Li, B. & Guo, S. (2020) "Using unmanned aerial vehicles with thermal-image acquisition cameras for animal surveys: A case study on the Sichuan snub-nosed monkey in the Qinling Mountains", *Integrative Zoology*, 15, pp. 79-86.

- Herborn, K. A.; Jerem, P.; Nager, R. G.; Mckeegan, D. E. F. & Mcafferty, D. J. (2018) "Surface temperature elevated by chronic and intermittent stress", *Physiology and Behavior*, 191, pp. 47-55, <https://doi.org/10.1016%2Fj.physbeh.2018.04.004>
- Horton, T. W.; Hauser, N.; Cassel, S.; Klaus, K. F.; Fettermann, T. & Key, N. (2019) "Doctor Drone: non-invasive measurement of humpback whale vital signs using unoccupied aerial system infrared thermography", *Frontiers in Marine Science*, 6, 466, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00466>
- Ireland, A. W.; Palandro, D. A.; Garas, V. Y.; Woods, R. W.; Davi, R. A.; Butler, J. D.; Gibbens, D. M. & Gibbens Jr, J. S. (2019) "Testing unmanned aerial systems for monitoring wildlife at night", *Wildlife Society Bulletin*, 43, pp. 182-190.
- Israel, M. & Reinhard, A. (2017) "Detecting nests of lapwing birds with the aid of a small unmanned aerial vehicle with thermal camera", in Institute of Electrical and Electronics Engineers (ed.) *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1199-1207.
- Jerem, P.; Herborn, K.; McCafferty, D.; Mckeegan, D. & Nager, R. (2015) "Thermal imaging to study stress non-invasively in unrestrained birds". *Journal of Visual Experiments*, 105, <https://doi.org/10.3791/53184>
- Jerem, P.; Jenni-Eiermann, S.; Mckeegan, D.; Mcafferty, D. J. & Nager, R. G. (2019) "Eye region surface temperature dynamics during acute stress relate to baseline glucocorticoids independently of environmental conditions", *Physiology and Behavior*, 210, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112627>
- Kadunc, N. Č.; Frangež, R. & Kruljc, P. (2020) "Infrared thermography in equine practice", *Veterinarska stanica*, 51, pp. 109-116, <https://doi.org/10.46419/vs.51.2.1>

- Kaisin, O.; Fuzessy, L.; Poncin, P.; Brotcorne, F. & Culot, L. (2021) "A meta-analysis of anthropogenic impacts on physiological stress in wild primates", *Conservation Biology*, 35, pp. 101-114, <https://doi.org/10.1111/cobi.13656>
- Karp, D. (2020) "Detecting small and cryptic animals by combining thermography and a wildlife detection dog", *Scientific Reports*, 10 (1), pp. 1-11, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61594-y>
- Kays, R.; Sheppard, J.; Mclean, K.; Welch, C.; Paunescu, C.; Wang, V.; Kravit, G. & Crofoot, M. (2019) "Hot monkey, cold reality: Surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors", *International Journal of Remote Sensing*, 40, pp. 407-419.
- Kim, M.; Chung, O.-S. & Lee, J.-K. (2021) "A manual for monitoring wild boars (*Sus scrofa*) using thermal infrared cameras mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV)", *Remote Sensing*, 13 (20), <https://doi.org/10.3390/rs13204141>
- Lahoz-Monfort, J. J. & Magrath, M. J. (2021) "A comprehensive overview of technologies for species and habitat monitoring and conservation", *BioScience*, 71, pp. 1038-1062, <https://doi.org/10.1093/biosci/biab073>
- Lathlean, J. & Seuront, L. (2014) "Infrared thermography in marine ecology: Methods, previous applications and future challenges", *Marine Ecology Progress Series*, 514, pp. 263-277, <https://doi.org/10.3354/meps10995>
- Lee, W. Y.; Park, M. & Hyun, C.-U. (2019) "Detection of two Arctic birds in Greenland and an endangered bird in Korea using RGB and thermal cameras with an unmanned aerial vehicle (UAV)", *PLOS ONE*, 14 (9), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222088>
- Lethbridge, M.; Stead, M. & Wells, C. (2019) "Estimating kangaroo density by aerial survey: a comparison of thermal cameras with human observers", *Wildlife Research*, 46, pp. 639-648.

- Lioy, S.; Bianchi, E.; Biglia, A.; Bessone, M.; Laurino, D. & Porporato, M. (2021) “Viability of thermal imaging in detecting nests of the invasive hornet *Vespa velutina*”, *Insect Science*, 28, pp. 271-277, <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12760>
- Liu, H.; Lusk, R. & Gallardy, R. (2021) “Infrared thermography for insect detection: Lighting up the spotted lanternfly in the field”, *Journal of Pest Science*, 94, pp. 231-240.
- McCarthy, E. D.; Martin, J. M.; Boer, M. M. & Welbergen, J. A. (2021) “Drone-based thermal remote sensing provides an effective new tool for monitoring the abundance of roosting fruit bats”, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7, pp. 461-474, <https://doi.org/10.1002/rse2.202>
- McGowan, N. E.; Scantlebury, D. M.; Maule, A. G. & Marks, N. J. (2018) “Measuring the emissivity of mammal pelage”, *Quantitative Infrared Thermography Journal*, 15, pp. 214-222.
- McGregor, H.; Moseby, K.; Johnson, C. N. & Legge, S. (2021) “Effectiveness of thermal cameras compared to spotlights for counts of arid zone mammals across a range of ambient temperatures”, *Australian Mammalogy*, 44, pp. 59-66.
- McKellar, A. E.; Shephard, N. G. & Chabot, D. (2021) “Dual visible-thermal camera approach facilitates drone surveys of colonial marshbirds”, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7, pp. 214-226.
- McMahon, M. C.; Ditmer, M. A. & Forester, J. D. (2021) “Comparing unmanned aerial systems with conventional methodology for surveying a wild white-tailed deer population”, *Wildlife Research*, 49, pp. 54-65.
- Medolago, C. A. B.; Abra, F. D. & Prist, P. R. (2021) “Use of a portable thermograph as a potential tool to identify nocturnal airport bird risks”, *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4, pp. 2360-2370, <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n2-065>

- Mitchell, W. F. & Clarke, R. H. (2019) "Using infrared thermography to detect night-roosting birds", *Journal of Field Ornithology*, 90, pp. 39-51.
- Mota-Rojas, D.; Wang, D.; Titto, C. G.; Gómez-Prado, J.; Carvajal-De la Fuente, V.; Ghezzi, M.; Boscato-Funes, L.; Barrios-García, H.; Torres-Bernal, F. & Casas-Alvarado, A. (2021) "Pathophysiology of fever and application of infrared thermography (IRT) in the detection of sick domestic animals: Recent advances", *Animals*, 11(8), <https://doi.org/10.3390/ani11082316>
- Mulero-Pázmány, M.; Jenni-Eiermann, S.; Strebel, N.; Sattler, T.; Negro, J. J. & Tablado, Z. (2017) "Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review", *PLOS ONE*, 12 (6), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178448>
- Mutalib, A. H. A.; Ruppert, N.; Akmar, S.; Kamaruszaman, F. F. J. & Rosely, N. N. (2019) "Feasibility of thermal imaging using unmanned aerial vehicles to detect Bornean orangutans", *Journal of Sustainability Science and Management*, 14 (5), pp. 182-194.
- Nääs, I. A.; Garcia, R. G. & Caldara, F. R. (2014) "Infrared thermal image for assessing animal health and welfare", *JABB-Online Submission System*, 2(3), pp. 66-72, <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72>
- Niedbalski, W. (2016) "Recent progress in the diagnosis of foot-and-mouth disease: Rapid field-based assays", *Medycyna Weterynaryjna*, 72, pp. 339-344, <http://dx.doi.org/10.21521/mw.5524>
- Niedringhaus, K. D.; Brown, J. D.; Sweeley, K. M. & Yabsley, M. J. (2019) "A review of sarcoptic mange in North American wildlife", *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 9, pp. 285-297, <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.06.003>
- Noh, J.-Y.; Kim, K.-J.; Lee, S.-H.; Kim, J.-B.; Kim, D.-H.; Youk, S.; Song, C.-S. & Nahm, S.-S. (2021) "Thermal image scanning for the early detection of fever induced by highly pathogenic avian influenza Virus Infection in Chickens and Ducks and Its

- Application in Farms”, *Frontiers in Veterinary Science*, 8, <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.616755>
- Nord, A. & Folkow, L. P. (2019) “Ambient temperature effects on stress-induced hyperthermia in Svalbard ptarmigan”, *Biology Open*, 8 (6), <https://doi.org/10.1242/bio.043497>
- Oishi, Y.; Oguma, H.; Tamura, A.; Nakamura, R. & Matsunaga, T. (2018) “Animal detection using thermal images and its required observation conditions”, *Remote Sensing*, 10 (7), <https://doi.org/10.3390/rs10071050>
- Oleksyn, S.; Toso, L.; Raouf, V.; Joyce, K. E. & Williamson, J. E. (2021) “Going batty: The challenges and opportunities of using drones to monitor the behaviour and habitat use of rays”, *Drones*, 5 (1), <https://doi.org/10.3390/drones5010012>
- Ouyang, J. Q.; Macaballug, P.; Chen, H.; Hodach, K.; Tang, S. & Francis, J. S. (2020) “Infrared thermography is an effective, noninvasive measure of HPA activation”, *Stress*, 24, pp. 584-589, <https://doi.org/10.1080/10253890.2020.1868431>
- Perry, C. J. & Baciadonna, L. (2017) “Studying emotion in invertebrates: What has been done, what can be measured and what they can provide”, *Journal of Experimental Biology*, 220, pp. 3856-3868, <https://doi.org/10.1242/jeb.151308>
- Preston, T. M.; Wildhaber, M. L.; Green, N. S.; Albers, J. L. & Debenedetto, G. P. (2021) “Enumerating white-tailed deer using unmanned aerial vehicles”, *Wildlife Society Bulletin*, 45, pp. 97-108, <https://doi.org/10.1002/wsb.1149>
- Prosekov, A.; Kuznetsov, A.; Rada, A. & Ivanova, S. (2020) “Methods for monitoring large terrestrial animals in the wild”, *Forests*, 11 (8), <https://doi.org/10.3390/f11080808>
- Rahman, D. A. (2021) “Performance of unmanned aerial vehicle with thermal imaging, camera trap, and transect survey for monitoring of wildlife”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 771 (1), <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/771/1/012011>

- Rekant, S. I.; Lyons, M. A.; Pacheco, J. M.; Arzt, J. & Rodriguez, L. L. (2016) "Veterinary applications of infrared thermography", *American Journal of Veterinary Research*, 77, pp. 98-107, <https://doi.org/10.2460/ajvr.77.1.98>
- Roberts, B. R. & Osborne, J. L. (2019) "Testing the efficacy of a thermal camera as a search tool for locating wild bumble bee nests", *Journal of Apicultural Research*, 58, pp. 494-500, <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1614724>
- Ross, R. (2021) "Doug to the rescue: Drone pilot saves animals in global disaster zones", *Reuters*, June 15, <https://www.reuters.com/technology/doug-rescue-drone-pilot-saves-animals-global-disaster-zones-2021-06-15/>
- Santangeli, A.; Chen, Y.; Klun, E.; Chirumamilla, R.; Tiainen, J. & Loehr, J. (2020) "Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land", *Scientific Reports*, 10, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67898-3>
- Schilling, A-K.; Mccurdy, K.; Fish, A.; Lurz, P. W.; Geluk, A.; Van Hooij, A.; Farish, M.; Mitchell, M.; Stevenson, K. & Meredith, A. L. (2021) "Diagnosing and categorizing leprosy in live Eurasian red squirrels (*Sciurus vulgaris*) for management, surveillance, and translocation purposes", *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 52, pp. 648-659.
- Schoenecker, K. A.; Doherty, P. F., Jr.; Hourt, J. S. & Romero, J. P. (2018) "Testing infrared camera surveys and distance analyses to estimate feral horse abundance in a known population", *Wildlife Society Bulletin*, 42, pp. 452-459.
- Scholten, C.; Kamphuis, A.; Vredevoogd, K.; Lee-Strydhorst, K.; Atma, J.; Shea, C.; Lamberg, O. & Proppe, D. (2019) "Real-time thermal imagery from an unmanned aerial vehicle can locate ground nests of a grassland songbird at rates similar to traditional methods", *Biological Conservation*, 233, pp. 241-246.
- Schraft, H. A. & Clark, R. W. (2017) "Kangaroo rats change temperature when investigating rattlesnake predators", *Physiology & Behavior*, 173, pp. 174-178.

- Seuront, L.; Ng, T. P. & Lathlean, J. A. (2018) “A review of the thermal biology and ecology of molluscs, and of the use of infrared thermography in molluscan research”, *Journal of Molluscan Studies*, 84, pp. 203-232, <https://doi.org/10.1093/mollus/eyy023>
- Seymour, A.; Dale, J.; Hammill, M.; Halpin, P. & Johnston, D. (2017) “Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned aircraft systems (UAS) and thermal imagery”, *Scientific Reports*, 7 (1), pp. 1-10, <https://doi.org/10.1038/srep45127>
- Simpson, K.; Johnson, C. N. & Carver, S. (2016) “*Sarcoptes scabiei*: The mange mite with mighty effects on the common wombat (*Vombatus ursinus*)”, *PLOS ONE*, 11 (4), <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0149749>
- Smith, H. R.; Zitterbart, D. P.; Norris, T. F.; Flau, M.; Ferguson, E. L.; Jones, C. G.; Boebel, O. & Moulton, V. D. (2020) “A field comparison of marine mammal detections via visual, acoustic, and infrared (IR) imaging methods offshore Atlantic Canada”, *Marine Pollution Bulletin*, 154, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111026>
- South, K. E., Haynes, K. & Jackson, A. C. (2020) “Diagnosis of hypothermia in the European hedgehog, *Erinaceus europaeus*, using infrared thermography”, *Journal of Thermal Biology*, 90, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102574>
- Spaan, D.; Burke, C.; Mcaree, O.; Aureli, F.; Rangel-Rivera, C. E.; Hutschenreiter, A.; Longmore, S. N.; McWhirter, P. R. & Wich, S. A. (2019) “Thermal infrared imaging from drones offers a major advance for spider monkey surveys”, *Drones*, 3 (2), <http://dx.doi.org/10.3390/drones3020034>
- Still, C.; Powell, R.; Aubrecht, D.; Kim, Y.; Helliker, B.; Perry, D.; Richardson, A. D. & Goulden, M. (2019) “Thermal imaging in plant and ecosystem ecology: applications and challenges”, *Ecosphere*, 10 (6), <https://doi.org/10.1002/ecs2.2768>
- Tabh, J. K. R.; Burness, G.; Wearing, O. H.; Tattersall, G. J. & Mastromonaco, G. F. (2021) “Infrared thermography as a technique to measure physiological stress in birds:

- Body region and image angle matter”, *Physiological Reports*, 9 (11), <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.14865>
- Tálas, L. & Tálas, L. ifj. (2017) “Az infravörös thermográfia, mint képkötő diagnosztikai eszköz a lógyógyászatban”, *Magyar Állatorvosok Lapja*, 139, pp. 259-268, <https://core.ac.uk/display/161510290>
- Tolpinrud, A.; O’Brien, M. F.; Justice, W. S.; Barrows, M.; Steele, O. D.; Gent, S. & Meredith, A. (2017) “Infrared thermography as a diagnostic tool for pododermatitis in captive greater flamingos (*Phoenicopterus roseus*)”, *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 5, pp. 48-55, <https://doi.org/10.19227/jzar.v5i1.245>
- Travain, T. & Valsecchi, P. (2021) “Infrared thermography in the study of animals’ emotional responses: A critical review”, *Animals*, 11(9), <https://doi.org/10.3390/ani11092510>
- Underwood, A.; Derhé, M. & Jacups, S. (2022) “Thermal imaging outshines spotlighting for detecting cryptic, nocturnal mammals in tropical rainforests”, *Wildlife Research*, 22 March.
- Vinson, S. G.; Johnson, A. P. & Mikac, K. M. (2020) “Thermal cameras as a survey method for Australian arboreal mammals: A focus on the greater glider”, *Australian Mammalogy*, 42, pp. 367-374.
- Wang, D.; Shao, Q. & Yue, H. (2019) “Surveying wild animals from satellites, manned aircraft and unmanned aerial systems (UASs): A review”, *Remote Sensing*, 11 (11), <https://doi.org/10.3390/rs11111308>
- Williams, C. (2019) *The use of thermal imaging technology to enhance livestock production*, Cardiff: Welsh Government, <https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/news-and-events/technical-articles/use-thermal-imaging-technology-enhance-livestock-production>

- Winder, L. A.; White, S. A.; Nord, A.; Helm, B. & McCafferty, D. J. (2020) “Body surface temperature responses to food restriction in wild and captive great tits”, *Journal of Experimental Biology*, 223 (8), <https://doi.org/10.1242/jeb.220046>
- Witczuk, J.; Pagacz, S.; Zmarz, A. & Cypel, M. (2018) “Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results”, *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 5504-5521.
- Witt, R. R.; Beranek, C. T.; Howell, L. G.; Ryan, S. A.; Clulow, J.; Jordan, N. R.; Denholm, B. & Roff, A. (2020) “Real-time drone derived thermal imagery outperforms traditional survey methods for an arboreal forest mammal”, *PLOS ONE*, 15 (11), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242204>
- Yaney-Kellar, A. (2020) “Thermal imaging advances fight against poaching”, *Wildlifetek*, Sep 20, <https://www.wildlifetek.com/blog/thermal-imaging-advances-fight-against-poaching>
- Young, B. G.; Yurkowski, D. J.; Dunn, J. B. & Ferguson, S. H. (2019) “Comparing infrared imagery to traditional methods for estimating ringed seal density”, *Wildlife Society Bulletin*, 43, pp. 121-130.
- Zhang, H.; Wang, C.; Turvey, S. T.; Sun, Z.; Tan, Z.; Yang, Q.; Long, W.; Wu, X. & Yang, D. (2020) “Thermal infrared imaging from drones can detect individuals and nocturnal behavior of the world’s rarest primate”, *Global Ecology and Conservation*, 23, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01101>
- Zitterbart, D. P.; Smith, H. R.; Flau, M.; Richter, S.; Burkhardt, E.; Beland, J.; Bennett, L.; Cammareri, A.; Davis, A. & Holst, M. (2020) “Scaling the laws of thermal imaging-based whale detection”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37, pp. 807-824, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-19-0054.1>