

TECNOLOGIAS DE IMAGEM USADAS NA PESQUISA ENTOMOLÓGICA

VALDINEI ISAC GONÇALVES DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
POLO UNIVERSITÁRIO DE CAMPO GRANDE
2018

TECNOLOGIAS DE IMAGEM USADAS NA PESQUISA ENTOMOLÓGICA

VALDINEI ISAC GONÇALVES DA SILVA

Monografia apresentada como atividade obrigatória
à integralização de créditos para conclusão do
Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas –
Modalidade EAD.

Orientadora: Roberta Veronese do Amaral

ORIENTADORA: ROBERTA VERONESE DO AMARAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
POLO UNIVERSITÁRIO DE CAMPO GRANDE

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, Valdinei Isac Gonçalves da

Tecnologias de imagem usadas na pesquisa entomológica. Polo Campo Grande, 2018. 61 f. il: 31 cm

Orientadora: Prof^a. Me. Roberta Veronese do Amaral.

Monografia apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do grau de Licenciado no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas – Modalidade EAD. 2018.

Referencias bibliográfica: f.48-61.

1. Entomologia. 2. Captura de imagem. 3. Imagens em 3D. 4. Ética animal. 5. Fotogrametria.

I. AMARAL, Roberta Veronese do.

II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Licenciatura em Ciências Biológicas – Modalidade EAD

III. Tecnologias de imagem usadas na pesquisa entomológica.

DEDICATÓRIA

A toda a vida na Terra.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela paciência irrestrita, pelas forças e pelo amor que sempre cuida e abençoa minha vida de maneira ímpar.

À Vera Moreira Gonçalves, pelo carinho e apoio irrestrito na minha trajetória, propiciando as condições necessárias para a realização deste trabalho.

À minha família, por ter me cuidado e ajudado a chegar até aqui.

À minha orientadora, Roberta Veronese, pela paciência que teve ao me acompanhar nesta tarefa árdua, sempre atenta e prestativa a ajudar e ensinar.

A todos os meus professores, tutores e colegas de turma, que me ajudaram a chegar nesse final de etapa, durante toda essa graduação, meu muitíssimo obrigado.

Ora, não é possível fazer um trabalho científico sem conhecer os instrumentos.

(Celso e Bervian)

O preparo científico do professor ou da professora deve coincidir com sua retidão ética. É uma lástima qualquer descompasso entre aquela e esta. Formação científica, correção ética, respeito aos outros, coerência, capacidade de viver e de aprender com o diferente, não permitir que o nosso mal-estar pessoal ou a nossa antipatia com relação ao outro nos façam acusá-los do que não fez são obrigações a cujo cumprimento devemos humilde mas perseverantemente nos dedicar.

(Paulo Freire)

RESUMO

SILVA, Valdinei Isac Gonçalves da. **Tecnologias de imagem usadas na pesquisa entomológica**. 61f. Monografia: Licenciatura em Ciências Biológicas – Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2018.

Anualmente, centenas de animais, entre eles os insetos, são capturados e mortos em prol dos avanços científicos, muitos deles que tem por objetivo a própria conservação da diversidade biológica. Entretanto, nas últimas décadas, com o apoio de muitos grupos de defesa dos animais, muitos cientistas têm pensado em estratégias e alternativas procedimentais que possam minimizar ou acabar com essa perda de vidas em prol dos avanços científicos. Por outro lado, muitos cientistas não acreditam ser a tecnologia capaz de mudar como as coisas já são feitas. Por esse motivo, foram elencadas as tecnologias de captura de imagem que podem substituir as formas mais convencionais de estudos entomológicos, a saber, as que utilizam imagens comuns (como o Reconhecimento de Padrões em Imagens, a os diferentes tipos de Modelagens em 3D e a Fotogrametria), e as que criam imagens em três dimensões (como o Escaneamento a Laser, a Interferometria Holográfica Digital, a Ultrassonografia e a Tomografia Computadorizada). Foi feita uma análise de cada uma, para verificar a aplicabilidade delas em pesquisas científicas e como foram os resultados das pesquisas que já as utilizaram, e que ressalvas a elas podem ser feitas.

Palavras-chave: captura de imagem, imagens em 3D, entomologia, métodos alternativos, ética animal, fotogrametria, tomografia computadorizada

ABSTRACT

Every year, hundreds of animals, among them insects, are captured and killed for the sake of scientific advances, many of which have as their objective the conservation of biological diversity. However, in recent decades, with the support of several animal advocacy groups, many scientists have been thinking about procedural strategies and alternatives that can minimize or end this loss of life for the sake of scientific advances. On the other hand, many scientists do not believe to be the technology capable of changing how things are already done. For this reason, we analyzed the image capture technologies that can replace the most conventional forms of entomological studies, namely those that use common images (such as the recognition of patterns in images, to the different types of 3d modeling and photogrammetry), and those that create three-dimensional images (such as Laser scanning, Digital holographic Interferometry, ultrasound and CT Scan). We analyzed each one, to verify their applicability in scientific research and how were the results of the research that already used them, and that they can be made.

Key words: Image capture, 3d images, entomology, alternative methods, animal ethics, photogrammetry, computed tomography

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTOS RELACIONADOS A ANIMAIS NÃO-HUMANOS EM PESQUISAS CIENTÍFICAS	11
2. OBJETIVO GERAL	14
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. METODOLOGIA	14
5. RESULTADOS	16
5.1 IMAGENS OBTIDAS POR CÂMERAS COMUNS	16
5.1.1 Reconhecimento de padrões em imagens	16
5.1.2 Modelagens em três dimensões	17
5.1.3 Fotogrametria	18
5.2 IMAGENS OBTIDAS POR SENSORES ESPECIAIS	19
5.2.1 Escaneamento a laser	19
5.2.2 Interferometria holográfica digital	19
5.2.3 Tomografia computadorizada	21
5.2.3.1 TC por raios X e raio gama	21
5.2.3.2 TC por ressonância magnética	22
5.2.4 Ultrassom	22
6 DISCUSSÃO	24
6.1 EFETIVIDADE DA TÉCNICA DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM IMAGENS (PDI)	24
6.2 USOS DA MODELAGEM EM 3D	28
6.3 FOTOGRAMETRIA	29
6.4 ESCANEAMENTO A LASER	31
6.5 INTERFEROMETRIA HOLOGRÁFICA DIGITAL	32
6.6 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	34
6.6.1 TC por raio X e Raio-gama	35
6.6.2 TC por Ressonância Magnética (RM)	37
6.7 ULTRASSOM	38
6.8 AS TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA ANÁLISE DE SISTEMAS BIOLÓGICOS	40
7 CONCLUSÃO	44
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa científica com animais tem sido tema de debates éticos nos últimos anos. O uso de animais em aulas de anatomia, dissecação, em pesquisas de DNA ou genética, geralmente, exige do pesquisador o sacrifício de espécimes em prol do avanço científico. E isso permaneceu por séculos, até as últimas décadas (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI, 2015, Resolução Nº25). Com o aquecimento global, as ações antrópicas (como queimadas, desmatamentos, caça desenfreada, a urbanização entre outros) em escala global fizeram com que os cientistas começassem a pensar sobre as próprias práticas, fez com que a sociedade também começasse a cobrar dos cientistas uma mudança ou ao menos uma indagação de sua prática trabalhista (O GLOBO, 2013). Seres vivos por todo o mundo estão entrando em extinção ou em risco, e ações têm sido feitas para preservar suas espécies, assim como o Brasil se tornou signatário de importantes acordos e convenções internacionais sobre a conservação de espécies (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

A caça também teve sua prática mais regulada, pautada em conhecimentos científicos, como época do ano, tempo de procriação, lista de espécies em risco de extinção. A partir disso, a própria pesquisa científica passou a ser alvo de estudos éticos e morais. O jornalista Giovanini (2017), apesar de citar o Projeto de Lei 626816, que dispõe sobre uma política nacional sobre a fauna, também argumenta que a caça ainda não é bem regulamentada no Brasil, pois o artigo 37 da Lei de Crimes ambientais (Lei 9.605/98) não considera crime o abate para alimentação, para proteger lavouras, rebanhos e plantações ou por ser animal nocivo ao homem.

A entomologia (estudo de insetos, mas que engloba, por conveniência, nas universidades, outros invertebrados também) é uma área em que tal prática de coleta e conservação de espécimes é comum, como podemos ver nas propostas de insetários em Cruz *et al* (2009), Camargo *et al*. (2015), Boaretto & Brandão (2000), entre outros. Bensusan (2002) afirma que uma das práticas mais comuns de coletas de insetos numa floresta densa é com o uso de um fumigador – aparelho que esfumaça veneno para a copa das árvores, para fazer cair de lá todos os insetos deste habitat, sendo coletados em funis previamente fixados ao chão. Este tipo de coleta, apesar de ainda hoje não haver outra forma de se chegar a estes insetos para se coletar e catalogar, continua sendo feita diariamente (BENSUSAN, 2002, p.13).

Segundo a AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DE DIREITOS ANIMAIS – ANDA (2016), somente no ano de 2015, mais de oitenta e um mil animais foram mortos em pesquisas na Universidade de

Sheffield, na Inglaterra: em sua maioria, peixes e camundongos, mas também coelhos, ratos, porcos, aves, gerbos, numa estimativa de 226 mortes por dia (os insetos nem são contabilizados ou mencionados). A mudança no código de ética do biólogo, do Conselho Federal de Biologia (2002), é uma das evidências dessa preocupação, como a citada preservação e conservação de “todas as formas de vida” durante a realização de sua profissão (CFBIO, 2002, Art. 6º), assim como a proibição das práticas de tortura (Art.15º) e a avaliação e possível denúncia quanto à inserção ou “à retirada e remanejo de seres vivos de seus habitats naturais” (Art.17º), ponto importante para este trabalho.

A partir destas mudanças recentes, surge a indagação sobre até onde, em prol de avanços científicos ou do ensino, podemos ou devemos sacrificar animais. Ou seja, o sacrifício de animais, mesmo com todas as tecnologias atuais, ainda se faz necessário? Ou não?

Desta forma, para uma tentativa de responder estas questões é esta pesquisa, tendo como objetivo principal a análise de técnicas recentes mais avançadas da tecnologia digital, no intuito de verificar se elas possibilitam os cientistas a deixarem a ocisão de animais em pesquisas, ou ao menos a diminuição do número de espécimes coletados, em especial na área da entomologia.

1.1 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTOS RELACIONADOS A ANIMAIS NÃO-HUMANOS EM PESQUISAS CIENTÍFICAS

Ao iniciar um projeto de pesquisa científica que envolva a captura, uso ou a morte de animais, o pesquisador vê seu projeto embargado por uma série de regulamentos, códigos e leis às quais deve estar a sua pesquisa adequada. A Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998), então, veio a estabelecer sanções penais e administrativas para condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, como, por exemplo, caçar sem licença, venda ilegal, poluição, destruição de habitats, aplicando penas de prestação de serviços, suspensão de atividades e até recolhimento domiciliar. Conquanto, somente em 2008 que tivemos uma lei que regulamentasse sobre o procedimento quanto ao uso de animais para fins científicos; a Lei Nº 11.794 define critérios para estas pesquisas e institui o Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – o CONCEA –, sua constituição, administração e forma de atuação, assim como o credenciamento de pesquisas e exame das mesmas (BRASIL, 2009), endossado pelo Decreto Nº6.899 de julho de

2009, o qual, além de dispor sobre o Conselho, já os métodos alternativos de pesquisa científica, em seu artigo 2º (BRASIL, 2009), definidos pela lei como:

“(…) procedimentos validados e internacionalmente aceitos que garantam resultados semelhantes e com reprodutibilidade para atingir, sempre que possível, a mesma meta dos procedimentos substituídos por metodologias que a) não utilizem animais; b) usem espécies de ordens inferiores; c) empreguem menor número de animais; d) utilizem sistemas orgânicos **ex vivos**; ou e) diminuam ou eliminem o desconforto” (BRASIL, 2009, Art.2º).

Desde então, o CONCEA vem agindo em resoluções normativas e orientações que regulam o trabalho dos pesquisadores (MCTI, 2015), como: inserir protetores dos animais em conselhos que autorizam pesquisas com animais (GOVERNO DO BRASIL, 2011); o acompanhamento por veterinários quanto ao estado dos animais em pesquisas (GOVERNO DO BRASIL, 2012); interdita as instituições de pesquisa que não eram cadastradas (GOVERNO DO BRASIL, 2013); reconhece 17 novos métodos alternativos usados no Brasil e simplifica o Cadastro das Instituições de Uso Científico de Animais – o CIUCA (GOVERNO DO BRASIL, 2014); aprova o documento para os métodos alternativos (GOVERNO DO BRASIL, 2015) entre outros. Neste último citado, o CONCEA leva em consideração o princípio dos 3Rs (Russel, 1992) de **substituição** (uso de similares, em inglês *replacement*), **refinamento** (modificação de procedimento operacional já usado) e **redução** (diminuição no número de animais usados), e insere o de “adaptação”, como sendo o período em que a instituição tem de se adaptar à normativa proposta (*id*, 2015).

Em sua Resolução Normativa Nº 13, de 20 de setembro de 2013, o CONCEA norma as Diretrizes da Prática de Eutanásia do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA. Esta resolução define como “eutanásia” o modo humanitário de matar um animal, sem dor e com o mínimo de desconforto, de maneira controlada para o seu alívio, assim como estabelece que o termo deva ser utilizado em todos os casos de morte desta maneira, para o bem do indivíduo, assim como para fins científicos (MCTI, 2013), e também expõe como a eutanásia deve ser conduzida e em que casos. Em sua Resolução Normativa Nº17, define e estabelece o uso dos métodos alternativos em pesquisa científica (*id.*, 2015), predispostos pela RENAMA – Rede Nacional de Métodos Alternativos (<http://renama.org.br/>).

A maior parte dos trabalhos científicos disponíveis sobre métodos alternativos em pesquisa animal ou sobre o uso de animais em pesquisa – assim como a Resolução Normativa N 13 do CONCEA –, apenas se preocupa sobre a utilização de animais em pesquisas, seu sofrimento, dor e indisposição. Entretanto, pouco se discute sobre a inicial captura destes animais em seus habitats naturais para fins científicos, para o estudo dos mesmos ou para o ensino nas áreas de ciências biológicas e biomédicas – apesar de haver leis sobre isso e sabermos que muitos dos animais usados

em pesquisa são criados em laboratórios, embora que muitos sejam capturados, vivos ou mortos na hora (OLIVEIRA & GOLDIM, 2014).

Layara (2015) afirma que a prática de uso de animais em pesquisa é comum desde a antiguidade e que o debate entre proibir ou não a pesquisa com animais tem sido acirrada, entrando nas discussões de viés prático, científico e ético. Para ela, os animais são seres vivos, e não coisas, e tem proteção constitucional, apesar de mais de 115 milhões de animais serem usados em pesquisa por todo o mundo por ano.

Apesar de haverem tantos defensores do uso dos animais em pesquisas quanto aos que rejeitam esse tipo de prática, os avanços científicos e tecnológicos são sempre citados para se repensar a lei e as normas vigentes (RIVERA, 2010, p.86). Novas formas de se pesquisar, usando tecnologias atuais, acabam em pôr em desuso ou contradição ética a permanência da utilização animal convencional. Rivera (2010, p.78) afirma que apenas pensar na dor não é o suficiente: é necessário pensar também no desconforto, no estresse, ansiedade, na vida sensorial, na dieta e mudanças comportamentais, que vão afetar a vida e os próprios resultados das pesquisas.

No Brasil, a Lei nº 11.794/2008 (BRASIL, 2008), que regulamenta sobre a criação e utilização de animais em atividades de ensino e pesquisa científica em todo o território nacional. LAYARA (2015) afirma que esta lei somente trata atividades de pesquisa científica as relacionadas com ciência básica, ciência aplicada, desenvolvimento tecnológico, produção e controle da qualidade de drogas, medicamentos, alimentos, imunobiológicos, instrumentos, ou quaisquer outros testados em animais, conforme definido em regulamento próprio (Art.1, § 2º) e como atividades de ensino as de educação superior e nível médio nas áreas biomédicas (excluídas as pesquisas em zootecnia) (Art.1, § 1º e 3º), além de dispor sobre os experimentos, morte por meio humanitário, profilaxia e tratamento dos mesmos, fiscalizados pelo CONCEA.

Entretanto, a referida lei (BRASIL, 2008, Art. 3º) restringe-se apenas ao subfilo **Vertebrata** (um encéfalo grande encerrado numa caixa craniana e uma coluna vertebral) pertencentes ao filo **Chordata** (que possuem encéfalo grande, notocorda, fendas branquiais na laringe e tubo nervoso dorsal único). Essa restrição se fez necessária, pois ao se regular sobre o assunto, os cientistas da época junto aos legisladores se limitaram ao pensamento humanitário dos pela lei protegidos, ou seja, tratando-os prosopopeicamente a partir de paradigmas do que se entende por “dor”, “desconforto” e “sofrimento” humanos. Por causa disso, muito da vida na terra foi deixada de lado, e não são contempladas pelas nossas leis, apesar de fazer parte da afeição dos pesquisadores e cientistas (Rodrigues, 2011).

2. OBJETIVO GERAL

Fazer uma revisão a respeito das tecnologias de captação e processamento de imagem usadas no campo da pesquisa científica em entomologia, para verificar se estas poderiam trazer uma nova visão aos estudos entomológicos, minimizando a captura ou morte dos espécimes estudados.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer um levantamento de trabalhos que abordaram as tecnologias de captação e processamento de imagens usadas na pesquisa científica entomológica e em outras áreas afins.
- Listar as técnicas de captação de imagens para estudos com invertebrados.
- Analisar todas as técnicas utilizadas e debater o quão abrangente pode ser o uso de tais tecnologias na entomologia, ao ponto de minimizar a captura de insetos.

4. METODOLOGIA

Foi feito um levantamento das diferentes tecnologias de captação de imagens, como elas foram usadas em pesquisas científicas recentes, seu funcionamento, requisitos básicos e a sua viabilidade para o uso em campo.

Para tal pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico em bases de dados científicas on-line, utilizando ferramentas de busca de artigos científicos e bibliotecas on-line especializadas em pesquisas em biologia no Brasil e no mundo, a saber: Scholar Google (<http://scholar.google.com.br>), Scielo (<http://www.scielo.org/php/index.php>), Periódicos CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>), o Microsoft Academic Research (<https://academic.microsoft.com/>), a Revista Science (<http://science.sciencemag.org>), o CiteSeerX (<http://citeseerx.ist.psu.edu/index>), Repositório da UNICAMP (<http://repositorio.unicamp.br/>), Teses USP (<http://www.teses.usp.br/>).

Foram utilizadas várias combinações de palavras, dentre as quais “tecnologias alternativas na pesquisa entomológica”. Também foram feitas buscas por pesquisas recentes em entomologia, insetos e pragas, para fazer o levantamento das técnicas já utilizadas na Biologia, bem como as que

ainda podem ser usadas para esse fim. Após tal levantamento, foi feita uma pesquisa específica em cima de cada técnica em particular, que são “reconhecimento de padrões em imagens”, “técnicas de modelagens em três dimensões”, “escaneamento a laser”, “interferometria holográfica digital”, “tomografia por raios X”, “tomografia por ressonância magnética”, “microtomografia”, “fotogrametria”, “ultrassom”, suas variações, assim como também as suas variantes em língua inglesa e espanhola.

Durante a pesquisa, foram selecionados somente artigos que ajudaram elencar cada técnica e explicar seu funcionamento, além dos artigos que corroboravam com o objetivo principal deste trabalho, sendo sua efetividade no campo da pesquisa biológica, ou sua aplicabilidade em campo.

Uma segunda ressalva é definir o que foi definido com uso das técnicas em campo, objetivo desta pesquisa, que é a possibilidade do uso das técnicas analisadas ao ar livre, como em plantações, florestas ou jardins, ou com o animal em questão vivo, em seu habitat ou sendo retirado para análise e devolvido logo em seguida, sem muitas interferências ao seu ciclo de vida ou perturbações à comunidade, conforme predisposto nas regras do uso de métodos alternativos para pesquisas científicas (MCTI, 2015) – nesta pesquisa, no caso, com insetos, abrindo a sua possibilidade de uso em outras áreas afins na Biologia.

5. RESULTADOS

As técnicas utilizadas para detecção e análises de imagens podem ser separadas em duas categorias: aquelas que analisam imagens comuns, fotos tiradas por câmeras fotográficas ou por celulares; e as imagens feitas através de câmeras especiais ou sensores específicos. Essa distinção faz-se necessária para, ao final, avaliar quais tecnologias teriam maior êxito a serem usadas por pesquisadores diversos, devido a sua relativa necessidade de aparelhos mais caros ou sofisticados para a sua pesquisa, por seu peso, tamanho, ou porque demandam mais tempo do pesquisador para o seu levantamento de dados.

5.1 IMAGENS OBTIDAS POR CÂMERAS COMUNS

5.1.1 Reconhecimento de padrões em imagens

O Reconhecimento de padrões em imagens, também chamado de processamento digital de imagens (PDI), baseia-se na criação de algoritmos que identificam pontos-chave (pontos de interesse) em imagens para identificação de objetos, a partir de suas formas, tamanhos, cores, através de softwares dedicados (RODRIGUES *et al.*, 2014). São muitas as formas de emprego – como na engenharia, para reconhecimento do formato de peças de um maquinário; na arqueologia, para reconhecimentos de caracteres hieróglifos ou formatos de estruturas, entre outros; na biologia, para identificação de espécies, entre outros (*id*, 2014).

Para aplicar a técnica, em primeiro lugar torna-se necessário fotografar o objeto em alta resolução e fazer o tratamento desta imagem. É necessária que se faça, por vezes, a preparação das imagens antes de fazê-las passar pelos programas análise de cores (como o SURF, Speeded Up Robust Feature) para se obter análises com o mínimo de erros: aumenta-se ou diminui-se o contraste das imagens, a escala, os ruídos, etc. e se evidenciam os contornos ou a transforma em preto e branco, para tal fim (Rodrigues *et al.*, 2014). A partir daí, o programa faz a análise da imagem em questão para o reconhecimento de padrões previamente programados no banco de dados do software – o que quer dizer que se ensina o programa previamente a reconhecer padrões de formatos, textura e cores de objetos já identificados em imagens modelo anteriores, atribuindo a

essas imagens-modelo um nome identificador. O programa faz a comparação entre o modelo e a foto tirada em campo, seja por pontos de interesse, seja por análise de pixels de imagem, atribuindo a essa comparação um valor em porcentagem, para depois ser analisado pelo pesquisador se a identificação foi a correta. Por isso, a técnica de análise de padrões em imagens vem sendo usado muito frequentemente, devido a sua rapidez e efetividade nas identificações para a pesquisa, e constantemente sendo atualizada, já que a qualidade das imagens tem crescido muito na última década (Pinho *et al.*, 2005).

5.1.2 Modelagens em três dimensões

Criar modelos em três dimensões (3D) dá uma enorme gama de possibilidades para a pesquisa, o estudo e o ensino. Muitas são as técnicas que culminam na modelagem 3D dos objetos analisados. São trabalhos recentes, que criam modelos em 3D de sistemas biológicos, para posterior análise ou como ferramenta de ensino ou divulgação, sejam com o auxílio de lentes de aumento, câmeras ou a olho nu, ou por dissecação.

Com modelagens 3D, é possível expressar e avaliar diferentes elementos visuais que não seriam possíveis em duas dimensões e que tais técnicas deveriam ser mais bem explorada na Entomologia, pois facilitaria o processo de ensino-aprendizagem (FARIA *et al.*, 2017, p.1), para a compreensão dos aspectos fisiológicos, ecológicos, comportamentais dos insetos e de controle de pragas. E, para provar isso, utilizam recursos de Realidade Aumentada (RA) e impressão 3D para a criação e visualização de tais modelos tridimensionais, combinando vários tipos de imagens digitais. A RA é a técnica de colocar ou projetar objetos virtuais no mundo real, trazendo uma nova perspectiva sobre a realidade (KIRNER & SISCOUTO, 2007, p.10). Para a modelagem dos insetos, Faria *et al.* (2017) utilizou-se o programa Blender, uma ferramenta de software livre.

A técnica conhecida por forma-pela-silhueta (*Shape-from-silhouette* ou *2D to 3D*) é um dos tipos de modelagens em 3D, que usam um algoritmo para criar modelos tridimensionais a partir de fotos comuns em duas dimensões (DARDON *et al.*, 2010).

Dessa forma, é possível ver que tanto a visualização e o entendimento do objeto real, seja ele macroscópico ou microscópico, podem ser mais bem compreendidos e estudados, do que com técnicas bidimensionais de corte e captura, de imagem ou do objeto real.

5.1.3 Fotogrametria

Existem muitas técnicas que usam a fotografia como base para a criação de modelos tridimensionais. Duas técnicas usadas recentemente, muito promissoras, são a fotogrametria e a cores naturais em 3D (natural color 3D). Em resumo, são técnicas que se baseiam em capturar imagens com câmeras comuns de vários ângulos do mesmo objeto e o uso destas imagens finais para a criação de um modelo em três dimensões, usando algum programa de computador para isto.

Na fotogrametria, a captação destas imagens é feita ou usando uma base rotátil em que os ângulos são previamente marcados, para que o programa já entenda aquela imagem a partir do ângulo informado (DARDON *et al.*, 2010, p.79), forma mais precisa de ângulos, formas e alturas, ou apenas várias fotos do objeto de vários ângulos aleatórios, que por análise digital fosse corrigido e moldado na figura final (*id.*, p.80) – o software usado para tal reconstrução pode ser o 3D SOM, qualquer outro aplicativo ACAD, dentre muitos. A forma-pela-silhueta, como ressalta Grilo *et al.* (2011, p.78), é a forma de se usar as fotografias tiradas anteriormente para se reconstruir uma figura digital 3D (algoritmo usado no programa 3D SOM), sendo assim parte da técnica fotogramétrica.

Outra técnica é a videogrametria, em que é utilizada uma câmera de vídeo conectada a um computador (Dardon *et al.*, 2010, p.80). Duas formas desta técnica são citadas: videogrametria com laser de traço e webcam, onde um laser “varre” a superfície do objeto, usando o programa *David 3D*; e videogrametria com projeção de padrões de luz branca, onde duas câmeras usam uma fonte de luz branca comum, usando o software *Spatuim FMM 3D Forma 4* (DARDON *et al.*, 2010, p.80) – o escaneamento a laser será explicado mais a frente, em subitem à parte.

Entretanto, para esta análise, não foram separadas a videogrametria da fotogrametria por serem ambas técnicas que escaneiam o exterior do corpo usando câmeras (na primeira digital, na segunda tendo a possibilidade de usar câmeras de vídeo), além de ambas também analisarem imagens 2D para a criação do modelo em 3D – apesar de a videogrametria de padrão de luz branca criar a forma em 3D automaticamente, sem a criação prévia em 2D. Da mesma forma, um vídeo nada mais é do que uma sequência de imagens estáticas (*frames*) que dão a ilusão de movimento ao olho humano, numa taxa maior do que 12 quadros por segundo, como bem afirma Fernandes *et al.* (2012), e por isso pode ser tratada da mesma forma que a fotogrametria, por pontos de interesse, ou por quaisquer algoritmo de análise de imagens digitais (FERNANDES *et al.*, 2012, p.3).

5.2 IMAGENS OBTIDAS POR SENSORES ESPECIAIS

5.2.1 Escaneamento a laser

O escaneamento a laser é uma tecnologia versátil, prática com várias aplicações, inicialmente sendo usada na engenharia em identificações de superfícies sólidas ou estruturas de construção, mas também na mineração para a identificação de túneis, na arqueologia, na paleontologia, entre outras (GONÇALES, 2007). Ela se baseia na utilização de um laser (feixe de luz estimulado por radiação), com espelhos de amplificação, que, quando rebatida em uma superfície, pode ser visualizada e medida por sistemas de captação de imagem, colocados entre um fino buraco criando microscopia confocal e transmitidas a um software de manipulação de nuvens de pontos. Tais pontos podem ser modelados e passados para um sistema CAD, como os softwares MicroStation ou AutoCAD (GONÇALES, 2007).

O escaneamento a laser tem sido usado na biologia apenas para visualizar e identificar estruturas microscópicas. Tem sido usada a microscopia de escaneamento por laser confocal (LEE *et al.*, 2009), ou microscopia laser confocal de varredura (BITENCOURTH *et al.*, 2007), que registra as distâncias entre o scanner e o objeto, por um MED (medidor eletrônico de distância).

Segundo Klaus *et al.* (2003), a microscopia confocal a laser (*confocal laser scanning microscopy* – CLSM) permite que se pegue uma “seção óptica” fina de um espécime por vez, captadas pela presença de fluorocromo dentro de estruturas transparentes, para agir como mecanismo de contraste, captadas por luz ultravioleta. Cada recorte captado pode ser reconstruído em um objeto 3D, muito melhor que a visualização feita por microscopia de luz clara. Os autores usaram a CLSM para estudar os caracteres morfológicos de genitálias de mosquitos, usando as propriedades autofluorescentes da cutícula dos mesmos.

5.2.2 Interferometria holográfica digital

As técnicas interferométricas ópticas englobam uma gama de métodos distintos, baseados na interferência da luz, como a fotoelasticidade (polarização da luz em objetos deformados), a técnica

de Moiré (imagem gerada pela superposição de padrões regulares projetos em um objeto deformado ou não) e as técnicas interferométricas (como a holografia e a *speckle*). Tais técnicas têm por vantagens serem não destrutivas, de não contato, por medições do feixe luminoso, que consegue medir diferenças em até microns (PIRES *et al.*, 2001).

Interferometria é a técnica de sobreposição de duas ou mais ondas (como a luz, o som) que, quando se chocam, criam outra onda que pode ser analisada para explorar as interferências sofridas pelas ondas primárias. Para isso, usa-se um interferômetro, que mede os ângulos e distâncias causadas por essa interferência (PESSOA, 1997). Essas medidas são feitas usando um sistema óptico (laser, mesa anti-vibratória, lentes de refração, picomotores) de captação e uma câmera CCD (sensor de captação de imagens em câmeras digitais), e uma placa de captura, com um computador (KURANDA, 2011).

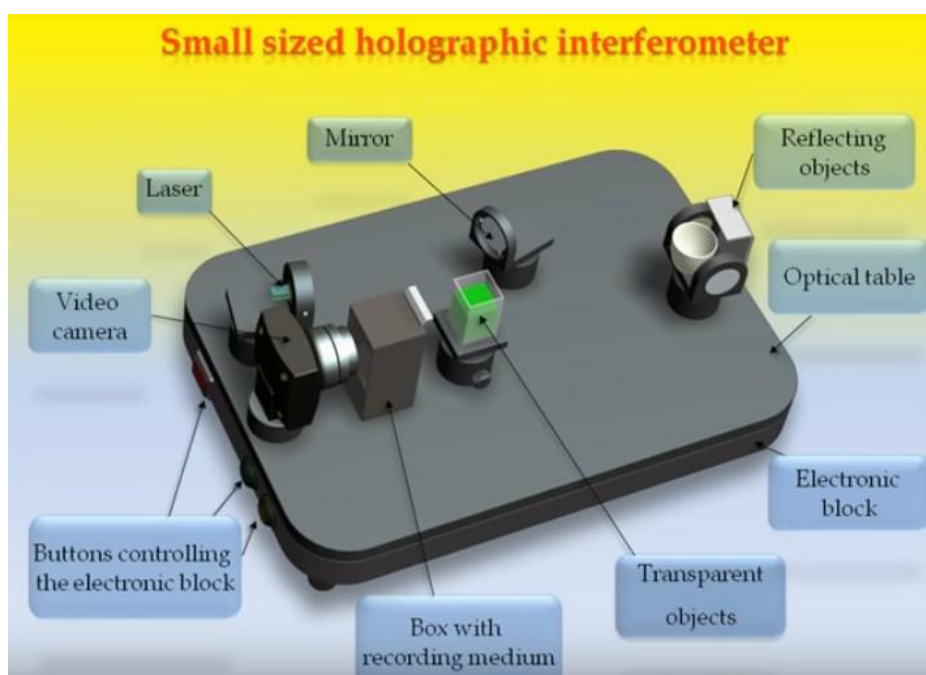


Figura 1: Mesa para captação interferometria holográfica. Retirado de Kuranda (2011).

O laser passa pelas lentes, atingindo o objeto, sendo captado pela câmera, e a variação da luz (de suas ondas) são analisadas e montadas em uma imagem holográfica, bastante precisa (KURANDA, 2011).

5.2.3 Tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada (TC) já é um recurso comum na área da medicina, entretanto já começou a ser usada em outras áreas, por sua característica não invasiva para analisar seres vivos ou brutos (CARVALHO, 2007), assim como muito usado na análise de estruturas ósseas, em Geociências (FIGUEIREDO, 2017). É um procedimento a base de imagens, criadas a partir da exposição do objeto a raios penetrantes, tornando-o passível de ser capturado em imagens de alta definição de suas estruturas gerais internas, sendo capaz de evidenciar ossos, órgãos, cartilagens (SANTOS *et al.*, 2013).

A TC pode ser através de raios X, raios-gama ou por Ressonância Magnética Nuclear (RMN), sendo que este último apresenta restrições de uso, em meios porosos que apresentem materiais magnéticos ou paramagnéticos, como metais: não podendo ser usado nestes casos (MACEDO & CRESTANA, 1999, p.764).

Softwares muito usados neste tipo de técnica para a análise, preparação e reconstrução 3D das imagens são o NRECON, CTAN, DATA VIEWER, CTVOX, SkyScan, MIMICS, AVISO, INVESALIUS, entre outros. Os sistemas de microtomografia computadorizada (μ TC) trouxeram uma grande gama de usos e vantagens para o desenvolvimento de ferramentas de análise em 3D para a medicina, e áreas que possam usufruir da mesma. Metscher (2009) demonstrou que a microCT poderia já ser usada para evidenciar tecidos não minerais.

5.2.3.1 TC por raios X e raio gama

Já em 1999, a técnica de TC por raios X era muito valiosa, por se mostrar uma técnica não invasiva de precisão de milímetros, e a partir daí, apresentando, desde o mesmo ano, imagens capazes de precisar em até 20 micrômetros (CARVALHO, 2007). O autor também nos traz uma elegante reconstrução da história da TC por raios X, desde a descoberta desta onda (JAUNCEY, 1945; WATSON, 1945 *apud* CARVALHO, 2007), até o uso de reconstrução tridimensional de objetos a partir de imagens de alta resolução (GRILLO *et al.*, 2003; RAMOS *et al.*, 2003; D. SANTOS *et al.*, 2003; J. SANTOS *et al.*, 2003; CARVALHO *et al.*, 2006, *apud* CARVALHO, 2007, pp. 21-28).

Biassusi (1999) utilizou a tomografia de dupla energia, baseada na emissão de duas fontes de raios-gama. Da mesma forma que os de raios X, o fenômeno dos feixes que atingem o objeto são analisados por um software desenvolvidos para este fim e quantificados eletronicamente. As imagens seccionadas podem ser montadas em uma imagem em três dimensões. Tal método obteve uma vantagem em cima dos anteriores por apresentar uma melhor análise do volume e da densidade dos objetos testados (Cruvinel, 1987).

5.2.3.2 TC por ressonância magnética

A tomografia computadorizada por ressonância magnética (MRI ou RM em português), também chamada de ressonância magnética nuclear (NMRI ou RMN em português), também já é muito usada na medicina há duas décadas, mas vem sendo integrada à tecnologia em 3d de dez anos para cá. Vários softwares já foram desenvolvidos, para utilizar aparelhos de ressonância magnética para criar imagens em 3D, como o MedSquare (CAVALCA, 2009). As imagens produzidas pelo aparelho de ressonância magnética, e processadas transformando-se em uma imagem em 3d, são de grande importância na medicina para o diagnóstico e prevenção de doenças cerebrais, lesões em tendões, entre outros . Uma das técnicas mais avançadas é a ressonância magnética de alto campo (RM em 1,5T), que produz imagens claras e já em três dimensões, prontas para um diagnóstico preciso do profissional da saúde (TIFERES *et al.*, 2003).

5.2.4 Ultrassom

O ultrassom, consagrado entre as ferramentas não-invasivas da medicina contemporânea, é que um método de diagnóstico por imagens obtidas através da análise de fenômenos acústicos, ao atingir um objeto (SZABO, 2004, *apud* CÂMARA, 2015, p.1).. É baseado nas observações das características de alguns animais, como os morcegos que se orientam através do som de alta frequência. Um transdutor usa eletricidade para convertê-la em vibração mecânica, emitindo som, e parte desta vibração pode volta a ser captada (efeito piezoelétrico), ecos de RF (radiofrequência), para ser processada, extraindo-se informações visuais destes sons, gerando uma imagem de

ultrassonografia (SHUNG, 2007, *apud* CÂMARA, 2015, p.1). Entretanto, o que nos interessa é a microscopia por ultrassom, ou biomicroscopia ultrassônica (BMU), que utiliza frequências de 40 a 100MHz, gerando imagens em 2D, na faixa de 37 a 50µm, que podendo ser transformada em imagens tridimensionais usando o US 3D *freehand* – programa que dá a possibilidade de rotacionar e manipular tais imagens em diferentes ângulos, e mensurar volume dos órgãos e tecidos, além das características já citadas, dando um diagnóstico e análise mais precisos (MARTINS *et al.*, 2014, p.2272).

6 DISCUSSÃO

6.1 EFETIVIDADE DA TÉCNICA DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM IMAGENS (PDI)

O Reconhecimento de padrões em imagens (RPI ou PDI) foi usado por Silva (2016), para identificação e contagem de insetos em plantações de soja (**figura 2**), de modo que auxilie o reconhecimento se há infestações na plantação. Para isso, foi usado o software SURF, que identifica pontos de interesse nas imagens criadas por um *drone DJI Phantom 3 Professional*. Assim, provou que esta técnica tem confiabilidade ao ser comparada a uma contagem de insetos por um especialista, manualmente. Com os pontos de interesse marcados, as imagens foram comparadas com imagens modelo, usando a métrica Medida-F, Máquina de Suporte SVM, árvore de decisão e vizinhos K, para contagem dos indivíduos. Tal método foi muito parecido ao usado por Mura & Oliveira (2016) ao testar uma detecção automática de danos por lagartas numa área foliar de soja. Na pesquisa, os autores usaram filtros não lineares para aproveitamento das imagens, mesmo as que tinham muito ruído. Tal procedimento também foi usado por Tetila *et al.* (2017), usando fotos tiradas por veículos aéreos, com o sistema de separação iterativa linear simples para identificar cor, gradiente, textura e forma, por limiarização e por segmentação.

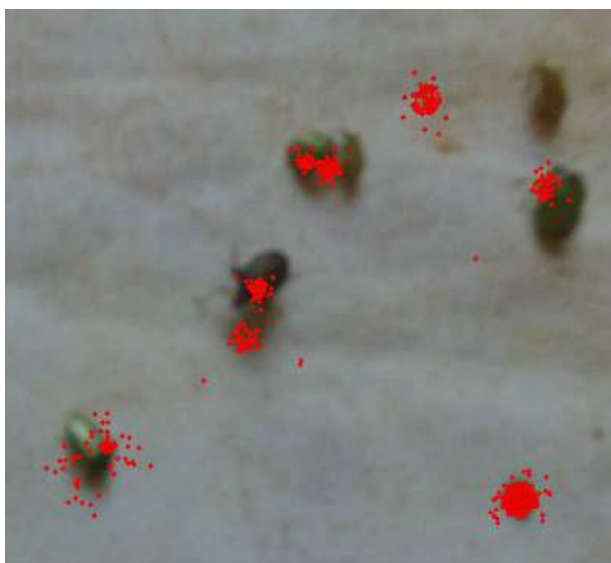


Figura 2: Classificação e contagem de insetos por pontos de interesse em plantações de soja, adaptado de SILVA (2016, p.73).

No entanto, outro uso mais eficaz foi notado em Freitas (2015), criando um aplicativo (programa) para smartphones Android, que usava uma biblioteca de Visão Computacional (OpenCV) de classificação, e a técnica de histogramas de palavras visuais em imagens coloridas, que são várias (Histograma de Palavras Visuais – Bag of Visual Words - BoVW, Histograma de Atributos e Cores – Bag of Features and Colors, Histograma de Palavras Coloridas – Bag of Colored Words - BoCW, Histogramas de Cores nos espaços de cores – RGB e HSV e Histograma de Cores de Wengert – Bag of Colors - BoC, a qual se saiu melhor – para identificação de tipos de peixes da fauna brasileira, que havia sido usada na China (HU *et al.*, 2012, *apud* FREITAS, 2015) em 2012.

É necessário ressaltar sobre a importância do pesquisador que quiser trabalhar com alguma das técnicas que envolvem análises de imagens digitais, ao se prezar em ter um bom equipamento de captura de imagens, seja uma câmera de boa qualidade, seja um celular com um pouco mais de investimento, que tenha uma boa câmera. A preocupação com a qualidade de imagens, com a iluminação (DARDON *et al.*, 2010, p.79), e com a melhor técnica de análise das imagens a ser empregada devem ser sempre preocupações do pesquisador, além do custo ou tempo gasto para a realização da coleta dos dados. Entre as câmeras digitais, o pesquisador ou grupo pode optar por câmeras Reflex (que têm espelhos em sua composição, podendo ver a imagem que será tirada antes da captura), ou câmeras com visor acoplado, LCD ou *touch*. Quanto à qualidade, câmeras profissionais, também chamadas de *Full frame*, tem um sensor de 3,5mm e podem disparar várias vezes em um segundo nas câmeras mais atuais, com armazenamento de imagens de 18 a 40 megapixels, dependendo do modelo, como as câmeras Canon, Nikon, etc. Todavia, devido ao seu custo elevado, as câmeras *semiprofissionais* (ou de sensor *cropado*, *cropped sensor*) também oferecem hoje em dia imagens de altíssima qualidade, e custos mais acessíveis, no mesmo preço de um celular novo do ano, como a Canon EOS Rebel T6i, ou Nikon D5500, oferecendo imagens de 24Mp, com um bom flash interno. Também é imprescindível se atentar à iluminação na hora da fotografia ou filmagem para se ter boas imagens finais para serem processadas: um bom kit de iluminação se for em laboratório, lâmpadas LED, refletores manuais ou lanternas de mão potentes ajudam na hora de tirar boas fotografias, principalmente de animais em movimento, seja de manhã ou à noite, como se pode observar nas figuras abaixo (ROSALEN, 1997). Na **figura 3**, demonstram-se alguns testes que foram feitos com e sem flash, para demonstrar a importância da iluminação.

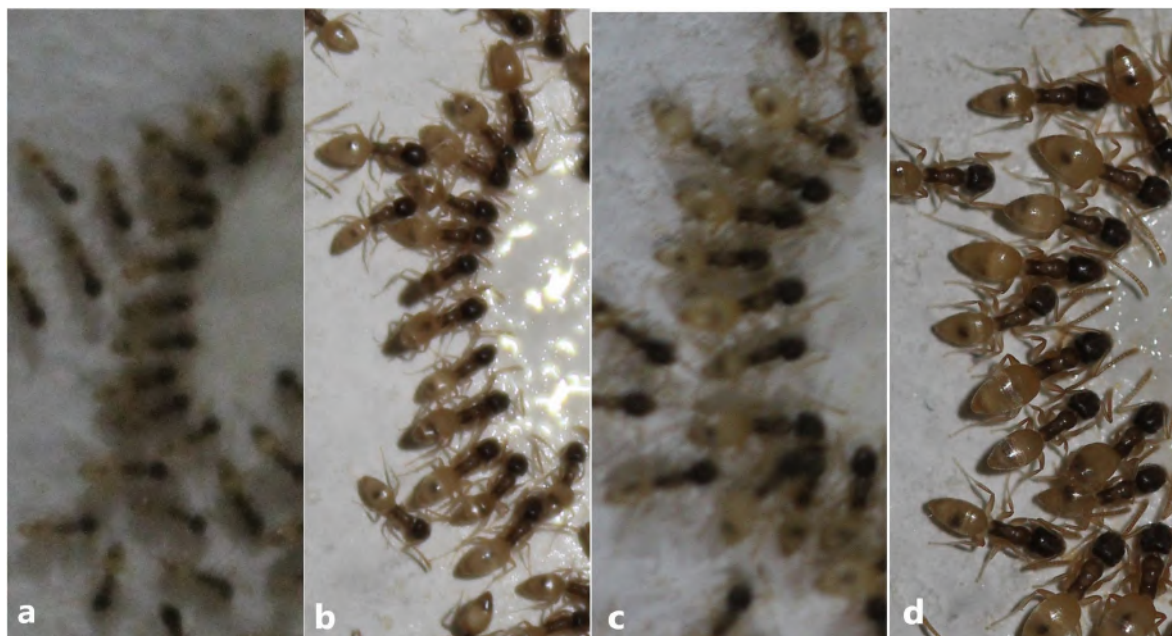


Figura 3: Fotos de *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius), de 2mm de tamanho, para comparação. Tiradas com iluminação ambiente, com câmera Canon T3i Reflex: a) com lente comum sem flash; b) com lente comum com flash; c) com lente macro sem flash; d) com lente macro com flash. Imagem de arquivo pessoal.

Em se tratando de celulares, as fotos também sempre devem ser tiradas com o flash embutido, na mais alta configuração do celular, em conjunto com a iluminação externa, se possível. Hoje em dia, celulares na faixa de dois mil reais, além de ser uma ótima ferramenta para um pesquisador, possuem câmeras acima de oito megapixels, com abertura f2.0 chegando até em f1.7, podendo captar bastante luz até em ambientes escuros. Para pequenos objetos, recomenda-se usar uma lente macro para celular, que seu custo gira em torno de cinco a quinze reais. Na **figura 4**, foi realizado um teste de fotos por meio da câmera de um celular, com o uso de uma lente macro. Estes parâmetros de qualidade servirão como base para uma boa coleta de dados em campo.

Aplicativos de celulares de reconhecimento de imagens, de processamento (pré ou pós), e de tratamento de imagens podem ser instalados, facilitando o trabalho do pesquisador, e servindo como pano de fundo para projetos de desenvolvimento de aplicativos de apoio à pesquisa pelas empresas e universidades.

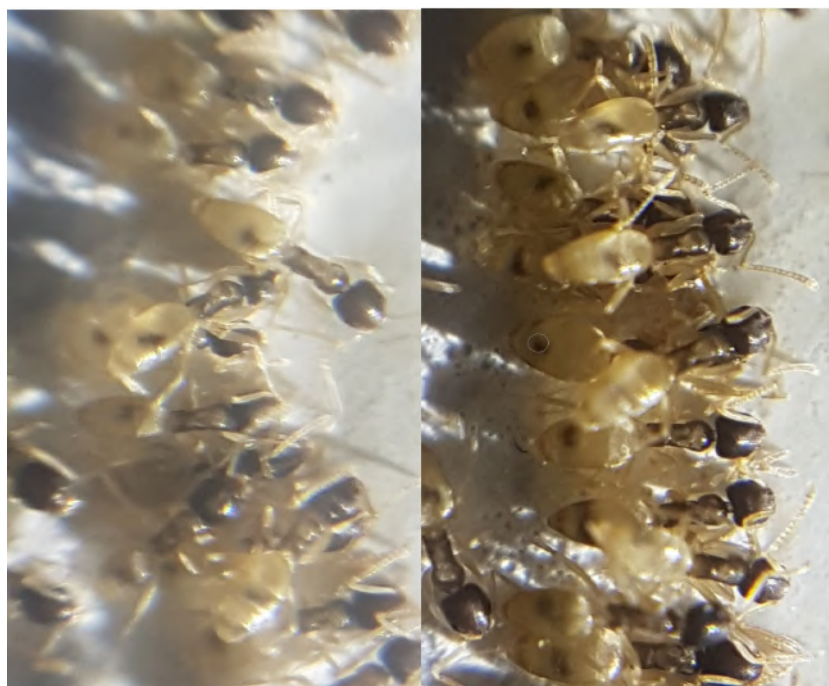


Figura 4: Fotos de *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius), tiradas com iluminação ambiente, por meio de um celular, câmera de 12 Megapixels, usando uma lente macro para celular, sem flash (à esquerda) e com flash (à direita). Imagem de arquivo pessoal.

Softwares de reconhecimento de imagens são importantes para que técnicas como esta funcionem e hoje em dia já são encontrados para *download* aplicativos gratuitos para celulares que fazem através de um banco de dados na internet vários tipos de reconhecimento, como rostos, figuras, formas criadas pelo homem ou naturais (GERALDES, 2012). A companhia Google, em 2016, disponibilizou a sua ferramenta Cloud Vision API (<https://cloud.google.com/vision/>), que faz o reconhecimento de imagens usando modelos de aprendizado de máquina, que usa inteligência artificial, e armazena fotos na nuvem (Google Cloud®), além de fazer buscas usando sua ferramenta de buscas proprietária (COMPUTERWORLD, 2016). Hoje, há muitos aplicativos gratuitos que usam essa tecnologia e similares, como o Image Recognizer® (LT STUDIO), Image Analysis Toolset® (SMH17), ou o Google Googles® (GOOGLE LLC), disponíveis para Android ou IOS. Entretanto, o desenvolvimento de softwares, banco de dados e motor de busca seria melhor se feito pela instituição de ensino e pesquisa, de forma autônoma e pública.

6.2 USOS DA MODELAGEM EM 3D

Conseguir visualizar em escala maior, em aparência mais similar a real é um grande ganho para o pesquisador ou professor e os modelos tridimensionais podem dar uma visão melhor do objeto de estudo. Com estratégias de modelagem em 3D, é possível finalmente sair de nosso estudo apenas abstrato (ou bidimensional) de observação da realidade e, dessa forma, os modelos em 3D podem ser usados de várias formas, como com a RA, ou com impressões 3D (MARINHO, 2018). Entretanto, o problema está em como se obter esse modelo tridimensional: se foi feito manualmente, usando um software de criação de modelos em 3D, ou se foi criado automaticamente, com alguma das técnicas analisadas na presente pesquisa, como o escaneamento a laser, por exemplo (CAMARGO & ABACKERLI, 2006). As duas formas são válidas, e deve-se usar a que melhor se encaixa em nosso fazer (pedagógico ou de pesquisa). Todavia, quanto mais próximo à realidade for o nosso modelo utilizado, melhor será o entendimento do observador se mais fiel à realidade. Vários trabalhos são feitos a desenvolver softwares dedicados à reconstrução 3D, como em Winkler (2006), que usa imagens feitas por tomografia crio-elétrica, e Malfatti *et al.* (2014), desenvolvendo um visualizador destinado à exploração científica de objetos virtuais, no ensino, como a visualização de insetos (p.191).

Na Biologia, Menezes (2017) usou a reconstrução tridimensional (com o programa *Reconstruct*) para criar um modelo visual do lobo olfativo de carrapatos para análise e comparação de gênero. Na entomologia, Faria (2017) já demonstra como é possível criar modelos de insetos para demonstração de peças bucais, para utilizá-las posteriormente com RA (**figura 5**). Zhang *et al.* (2010) afirma e demonstra que a reconstrução 3D pode ser usada para identificação e descrição do corpo de insetos – usando simples fotos em 2D para construir seus modelos em 3D. Genise & Hazeldine (2008) utilizaram a reconstrução 3D para montar um modelo de uma colmeia, a partir de um fóssil de colmeia, retirado da Formação Ascênsio (Período Terciário do Cretáceo Superior) no Uruguai. Koehler *et al.* (2012) usou a reconstrução 3D, junto a fotogrametria de alta velocidade, para capturar e montar um modelo dinâmico do movimento das asas de libélulas em voo livre, e Friedrich & Beutel (2008) para demonstrar a morfologia de insetos, pelo avanço da microtomografia computadorizada (SR- μ TC). De forma mais manual, já em 1989, FLANAGAN & MERCER (1989) também usaram a mesma técnica para reconstruir partes do corpo de insetos, neste caso do lobo de antenas de abelhas, que Laissue *et al.* (1999) também o fez para moscas *Drosophila melanogaster*. Da mesma forma, o procedimento pode ser usado para análise de

estruturas microscópicas, como na interação de filamentos de actina em músculos relaxados de inseto voador (SCHMITZ, 1994), ou na morfologia cefálica de um Coleóptera (CARVALHO, 2017).

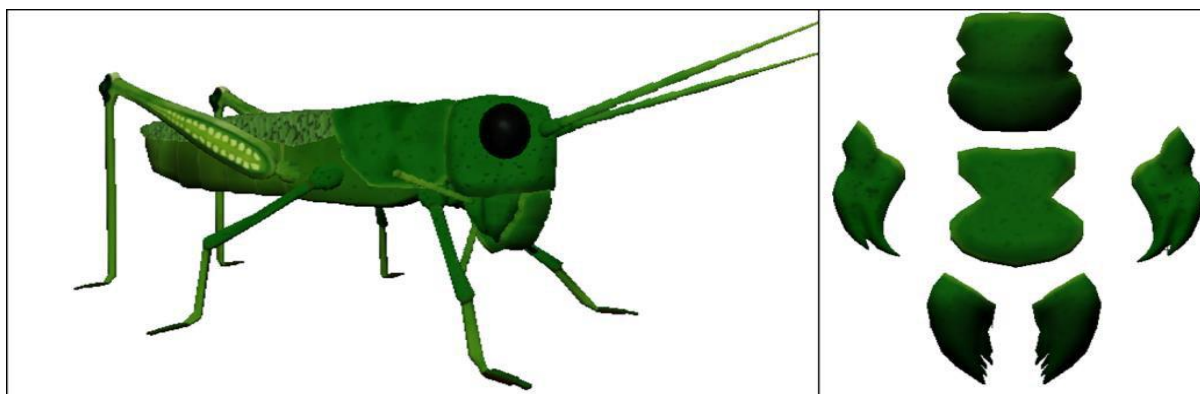


Figura 5: Modelo 3D de um gafanhoto e de suas peças bucais, retirado de FARIA *et al.* (2017, p.1).

Seja unida à criação de banco de dados de modelos, ou como uma ferramenta visual de construção livre, a modelagem em 3D já é há décadas uma ferramenta para visualização, estudo e análise de estruturas internas de insetos, principalmente se unido às técnicas não invasivas diversas existentes – diminuindo bastante o uso de animais em pesquisas ou sua captura. Esta deverá ser na próxima década uma das principais formas de ensino e pesquisa a serem obrigatórias em centro de estudos pelo mundo. Muitos são ainda os trabalhos que incentivam a criação de insetários no ensino, como Andrian *et al.* (2000), Cruz (org., 2009), Albuquerque *et al.* (2014), Martine & Santos (2014), Moraes & Santos (2015) e Mattoso (2016). Entretanto já surgem publicações mais atuais incentivando a criação de insetários virtuais, como em Machado & Miquelin (2016a) e (2016b) e Faria *et al.* (2017), que criam ou usam modelos 3D de bancos de dados já existentes, como os modelos presentes no site Sketchfab (<https://sketchfab.com/search?q=insect>), que podem ser usados no ensino. Entretanto, para serem usados em pesquisas, devem ser criados com mais rigor científico, em sítio próprio, público ou de empresa relacionada à instituição de pesquisa científica (NGUYEN *et al.*, 2014).

6.3 FOTOGARAMETRIA

Uma das características de fato limitante para a pesquisa com fotogrametria e tecnologias afins é a sua análise apenas do exterior do objeto (NGUYEN *et al.*, 2017a) – pesquisas ou banco de dados, que almejam também análise interior, não podem usar esta técnica sozinha, sem

equipamentos especiais, sendo assim sempre preferível usar em combinação com outras, como a TC ou o ultrassom, conforme Nguyen *et al.* (2017a).

Todavia, a fotogrametria oferece uma gama de possibilidades para os pesquisadores e docentes, a partir dos seus modelos em três dimensões finais. A possibilidade de criar banco de dados de espécimes digitalizadas em 3D com precisão de 10 μ m (WALLACE *et al.*, 2004) proporciona análises posteriores de estudos morfológicos, de classificação e de identificação de espécies, podendo ainda esse modelo servir de base para novas identificações por programas de PDI tiradas por novos pesquisadores em campo - *softwares* no futuro poderão usar esses “modelos”, de espécies já documentadas, para reconhecimento de espécies em imagens de forma mais rápida e segura, podendo até apontar diferenças entre a espécie nova fotografada e o modelo existente mais compatível, e suas diferenças morfológicas, já demonstrado em seção anterior.

Muitos são hoje as pesquisas envolvendo a fotogrametria. Na biologia, ela já foi usada, por exemplo, em Chiari *et al.* (2008), para reconstruir formatos de tartarugas, por Webster *et al.* (2010), para mamíferos marinhos, por Breuer *et al.* (2007), para estudar dimorfismo sexual em gorilas, e Valasek (2012) na engenharia aérea, usando modelos biológicos como exemplos, como aves e insetos. Na entomologia, por Wallace *et al.* (2004) e (2006), e por Nguyen *et al.* (2014), (2017a) e (2017b). No momento, a fotogrametria de cores naturais em três dimensões (*Natural Colour 3D photogrammetry*) tem sido a forma de mais alta qualidade final na criação deste tipo de modelo (NGUYEN, 2017a), como visto na **figura 6**.



Figura 6: Visualização 3D de um gorgulho do celeiro, como parte de um vídeo mostrando uma visão geral do processo de digitalização em 3D. Adaptado de Nguyen (2014).

Em sua aplicação, é necessária uma grande quantidade de fotos tiradas sequencialmente em diferentes ângulos, usando um braço robótico para mudar os ângulos do espécime e uma câmera fotográfica em fundo claro, de alta resolução (NGUYEN *et al.*, 2017b). A criação destes modelos ainda é demorada, segundo o autor, trabalhosa e feita em laboratório, ainda não apta para ser feita em campo, porém coleções de modelos de insetos 3D preservam preciosa informação para ser compartilhada e analisada pelo mundo todo, além de que essa tecnologia pode ser unida às plataformas de *upload* (como a Sketchfab), à Realidade Aumentada, e aplicativos de celulares *smartphones*, citados em subseção anterior (NGUYEN *et al.*, 2017b).

6.4 ESCANEAMENTO A LASER

Muitas são as técnicas de uso de laser na biologia, assim como na criação de imagens. Em 1999, Yelin & Silberberg (1999) demonstrara como o laser poderia ser usado na biologia (Third-Harmonic Generation Microscopy – THG). Mais tarde, Krstajic & Doran (2007) testaram a eficácia do escaneamento a laser com dosímetro para uso em pesquisa, para diminuir a radiação nas células, Solberg *et al.* (2006) fez também seu uso em campo para mapear um ataque de insetos em folhas, e Spense *et al.* (2012) demonstrou como aparelhos laser com pulso de raio-x poderiam evidenciar estruturas biológicas (x-ray free-electron lasers – XFEL).

Na microscopia, mais recentemente, Liu *et al.* (2018) usa a microscopia não-invasiva de folha de luz treliçada com óptica adaptativa (do inglês *lattice light-sheet microscopy* – LLSM) que corrige aberrações e, com isso, consegue fotografar e filmar células em seu estado nativo, vivas – tecnologia nova, ainda com muitas limitações para tipos de tecidos e espécies diferentes, mas promissora. Na entomologia, a técnica está presente nos trabalhos de Klaus *et al.* (2003) e Lee *et al.* (2007), na análise morfológica de *Drosophila melanogaster* (**figura 7**); por. Bitencourth *et al.* (2007), que usou a CLSM para capturar e analisar as cerdas internas da cavidade posterior do órgão de Haller, na FIOCRUZ; e por Lee *et al.* (2009), para comparar tal técnica de microscopia com fluorescência a de dissecação, com genitálias de Lepidoptera. Ambos trabalhos evidenciam que a CLSM ainda é pouco usada para a entomologia brasileira. Foi visto que o método de escaneamento a laser, tal como é feito, prevê uma preparação do material prévia, o que ainda é custoso (Lee *et al.*, 2007).

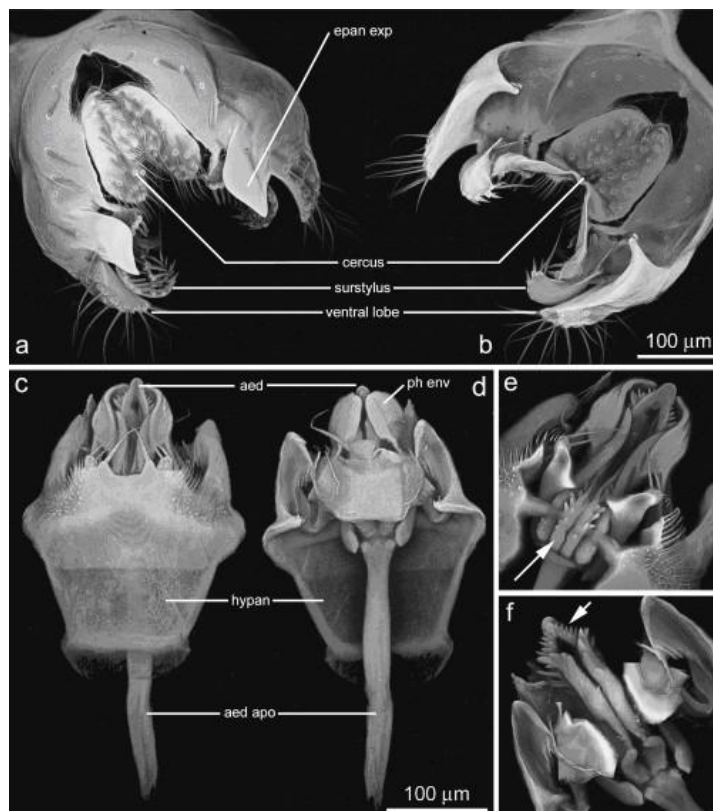


Figura 7: Estruturas genitálias e dissecções digitais de *Drosophila melanogaster*. (KLAUS *et al.*, 2003)

No uso do laser para a criação de imagens em 3D, Doran *et al.* (2001) já havia descrito como o laser poderia ser usado em pesquisas científicas. Béthoux *et al.* (2004) utilizou o escaneamento a laser para evidenciar asas de insetos fósseis. Eickhoff *et al.* (2012) usou a tomografia a laser para visualizar cérebros de insetos preparados com fluorescência a fim de ajudar em pesquisa de reconstrução de antenas. Entretanto, Paulus *et al.* (2014) utilizaram um braço manual acoplado ao laser e uma câmera CCD, para medir e analisar a morfologia e os parâmetros de crescimento de plantas de cereais, com uma precisão de 50µm, provando o uso desta tecnologia *in vivo*, validando seus resultados com outros destrutivos e exatos de medição (p.10).

6.5 INTERFEROMETRIA HOLOGRÁFICA DIGITAL

Brito (2015) verificou a aplicabilidade da microscopia holográfica digital (MHD) para análise não destrutiva de sistemas biológicos, tanto quanto observação de superfícies, quanto a de estruturas e morfologias (desde superfícies amplas até microscópicas, de eritrócitos – **figura 8**). Para isso, utilizou a técnica de polarização da luz, com materiais birrefringentes e dicróicos. A

técnica usa a microscopia de luz polarizada e a microscopia diferencial de polarização, através da intensidade da onda polarizada transmitida por esses materiais.

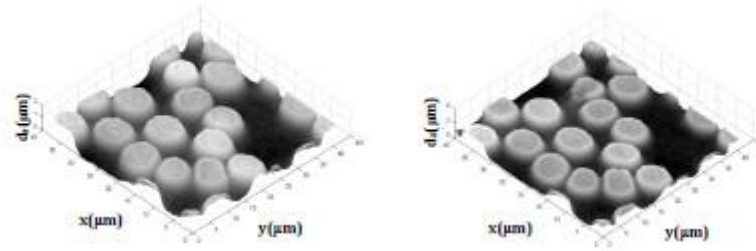


Figura 8: Eritrócitos por MHD. Retirado de BRITO (2015, p.88).

De outro lado, a técnica *speckle* (fotografia *speckle* com câmeras de sensores CCD e a holografia *speckle*) tem vantagem em cima da holografia por permitir a visualização em tempo real, com sensibilidade muito mais ampla (**figura 9**), e de ser automatizada – DSPI, do inglês *Digital Speckle Pattern Interferometry*, ou Interferometria Digital de Padrões de *Speckle* (PIRES *et al.*, 2001). Estas duas técnicas já nos provam a capacidade desta técnica visual.

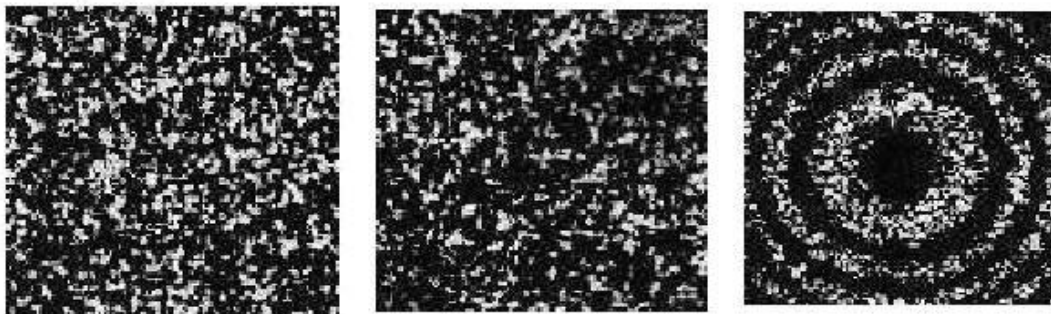


Figura 9: Speckle de Objeto não deformado (esquerda), deformado (centro) e superposição dos dois Speckle (direita).

Retirado de PIRES *et al.* (2001, p.17).

A mesma técnica foi usada por Aguayo *et al.* (2010), para medir a deformação das asas de uma borboleta, usando um sistema de holografia digital interferométrica (DHI) de alta velocidade, para melhorar sistemas de voo de aeronaves (conforme a **figura 10**). Para tal fim utilizaram uma câmera CCD, com uma lente 125 milímetros, e um laser 50:50 para iluminar o objeto.

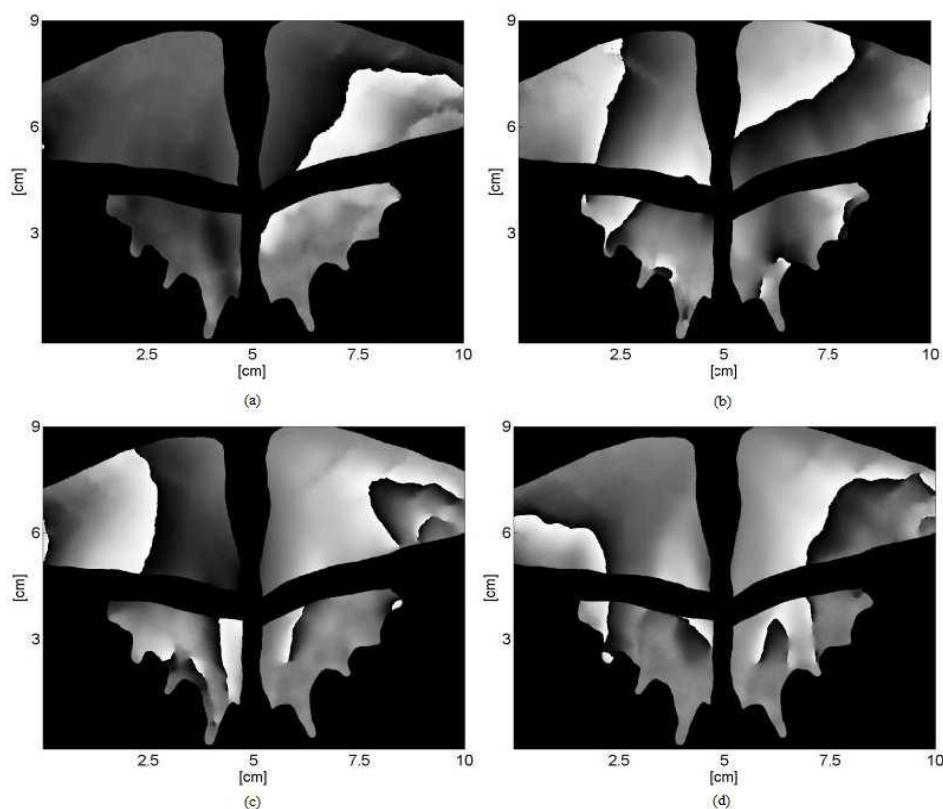


Figura 10: Asa de borboleta capturada em fases em diversos momentos do voo. Retirado de AGUAYO (2010, p.5).

6.6 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Santos (2013) afirma que as tecnologias de imagens 3D mais utilizadas na bioengenharia tecidual e na medicina regenerativa, seja para reparo tecidual ou substituição de órgãos, são “ultrassom, microscopia fotoacústica, ressonância magnética, imagens obtidas a partir de equipamentos ópticos, cintilógrafos, raios X, sendo a μ TC a promissora na engenharia tecidual óssea” (SANTOS, 2013, p.479). Entretanto, na TC, há uma necessidade de preparação do objeto a ser tomografado, se for de natureza biológica: insere-se um contraste venoso para torná-lo visível aos aparelhos de escaneamento. Ou seja, esse meio já apresenta uma restrição ao seu uso em campo, já que o paciente teria que estar sedado e preparado, além de os equipamentos encontrados no mercado serem robustos, exigirem fonte de alimentação elétrica e de difícil locomoção.

Há mais de seis anos, Alba-Tercedor (2010) & (2012) vêm estudando as vantagens de se usar a microtomografia com insetos, demonstrando a sua precisão milimétrica e volumétrica. Em

2018, o autor comparou em sua pesquisa a análise anatômica convencional com a feita a partir de μ TC com abelhas, que se demonstrou um método completamente válido e confiável, como demonstrado em sua entrevista (THANH NIEN NEWS NEWSVIETNAM, 2014). Alba-Tercedor (2017, p.165) também ressalta a importância de estudos apoiados em um banco de dados composto de imagens de μ TC de insetos já estudados para o futuro da ciência – ou seja, ele considera muito importante que seja feito um depósito, no qual se possa fazer o *upload* dessas imagens para ajudar os pesquisadores de todo o mundo, assim como o banco de dados genéticos já está sendo usado (ver **figura 11**).

6.6.1 TC por raio X e Raio-gama

O custo de um minotomógrafo de raio X ou raio-gama, se comparado a um dedicado a medicina, segundo Cruvinel (1987, p.3), é de cinquenta vezes a menos, tornando-o uma ferramenta indispensável, útil para as mais variadas implementações, seja no campo da agropecuária, no estudo dos solos, na Biologia, Arqueologia ou Engenharia (fora seu uso já consagrado na Medicina). Dez anos após, em outra pesquisa similar, enquanto que um microtomógrafo comercial poderia custar em torno de meio milhão de dólares, foi demonstrado que a montagem de um equipamento dedicado poderia vir a custar dez vezes menos o valor, em torno de setenta mil dólares (MACEDO & CRESTANA, 1999, p.764), hoje por volta de duzentos e quarenta mil reais – em um aparelho fabricado pela universidade, para uso próprio de seus laboratórios e pesquisas.

Santos (2013) já faz uma avaliação do uso da TC por raios X, em suas limitações e aplicações. Ele afirma que a técnica é promissora, pois evidencia tecidos ósseos e faz a segmentação de arcabouços, em até 10 μ m, e se for do tipo *síncrotron* (SR-mCT), chega a 1 μ m; sendo assim superior ao ultrassom (que chega a 30 μ m) e à ressonância magnética (a 100 μ m). Desta forma, se for feito um aparelho portátil para uso em campo, deverá ser deste tipo de tecnologia para melhor aproveitamento. Entretanto, para tal técnica evidenciar nas imagens cartilagens e vasos sanguíneos, uma preparação das amostras numa solução de agente iônico de tomografia computadorizada (agente CT) que amplia o contraste da amostra (p.479).

Na Paleontologia, a TC por raios X já vem sendo usado em peso, desde a década de 1980, e a cada ano novos estudos vêm sendo feitos subsequentemente – Carvalho (2007) faz uma revisão bibliográfica deste uso (p.25), além de usar a técnica para estudar as cavidades intracranianas de

fósseis de vertebrados provenientes de rochas da Bacia Bauru, da coleção de Paleovertebrados do Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e dois outros espécimes do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (CARVALHO, 2007, p.7).

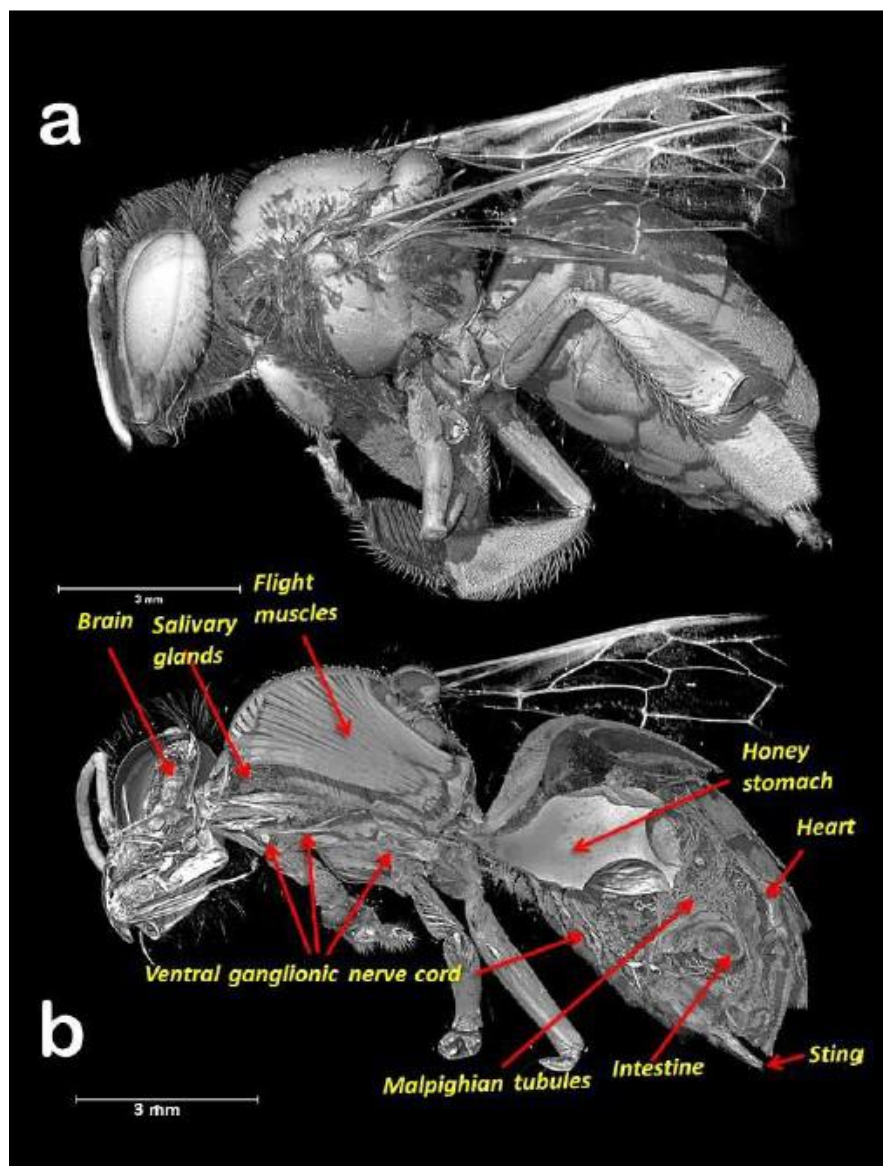


Figura 11: Renderização volumétrica de uma abelha operária. Anatomia externa em visão lateral (a) e corte sagital mostrando estruturas internas (b). Adaptado de Alba-Tercedor & Alba-Alexandre (2017).

A técnica de TC por raios X foi usada por Peck *et al.* (2009), para a descrição de novas espécies de bivalves em formações rochosas; por Dinley *et al.* (2009), para vermes marinhos previamente sedados e fixados (tecidos moles); Faulwetter *et al.* (2012) para estudar a biodiversidade marinha; por AMARAL (2016), para análise paleontológica de preguiças da subordem Folivora; por KERBL *et al.* (2013) no estudo anatômico de cefalópodes. Em estudos entomológicos foi usada por Ribí *et al.* (2008), para abelhas também sedadas e preparadas, para

análise do sistema nervoso cerebral; por Iwan *et al.* (2015) para estudar a morfologia traqueal em hexapoda (insetos e outros grupos); Jongerius e Lentink (2010) analisaram a estrutura das asas de uma libélula; por Smith *et al.* (2016) na inspeção de cérebros de insetos; e por Kehlmaier *et al.* (2014) nos órgãos genitais de moscas. A SR-mCT também foi usada por Shaha *et al.* (2013) em estruturas internas de artrópodes. Todas estas pesquisas citadas usaram uma preparação prévia de secagem (por vezes), iodação e fixação do espécime.

De outra forma, já foi demonstrado também que a TC por raios X de contraste de fase (X-ray CT) já superou essas limitações por usar a técnica *in vivo*, dispensando o uso de contraste de fase (APPEL *et al.*, *apud* SANTOS *et al.*, 2013, p.479-480). A mesma técnica foi usada por Milanetti *et al.* (2011), para o auxílio de reparo ósseo em cirurgias. Tarver *et al.* (2006) colocou em prática uma variação da técnica, a micro-CAT (microtomografia computadorizada axial) para seguir o desenvolvimento larval de um besouro em uma semente leguminosa, neste caso, *in vivo*, sem preparação prévia. Também foi usado por Schambach *et al.* (2010) usando raio X por tubos (X-ray tubes μ TC) demonstrou que é possível a análise de estruturas, *in* e *ex vivo*, de vários animais, diminuindo o alcance para 1-10 μ m (2010, p.4). Fernandes (2014) reafirmou, pelos avanços mais recentes, que já é possível fazer essa análise de biotécidos vivos. GIGNAC *et al.* (2016), ao usar a microtomografia computadorizada de contraste com base em iodo difusível (*diceCT*), que usa escaneamento por raios X, já alertou dos impactos negativos para estudos de DNA, genética e estruturas internas ao se preparar o espécime previamente, com o congelamento, iodização e fixação (p.893).

6.6.2 TC por ressonância magnética (RM)

Nos estudos envolvendo RM, uma das vantagens é que os pacientes não precisam de preparação prévia, apenas mobilização, para não se moverem durante o escaneamento (TIFERES *et al.*, 2003, p.2) e pode ser usada em seres vivos, sem danos posteriores, produzindo imagens de alta qualidade (**figura 12**), e, por isso, sendo muito usada até mesmo na entomologia, como bem analisado por HART *et al.* (2003). Segundo ele, podemos extrair informações de volume, área de superfície, assim como informações direcionais, que serviriam tanto para a pesquisa ou para o ensino (p.8).

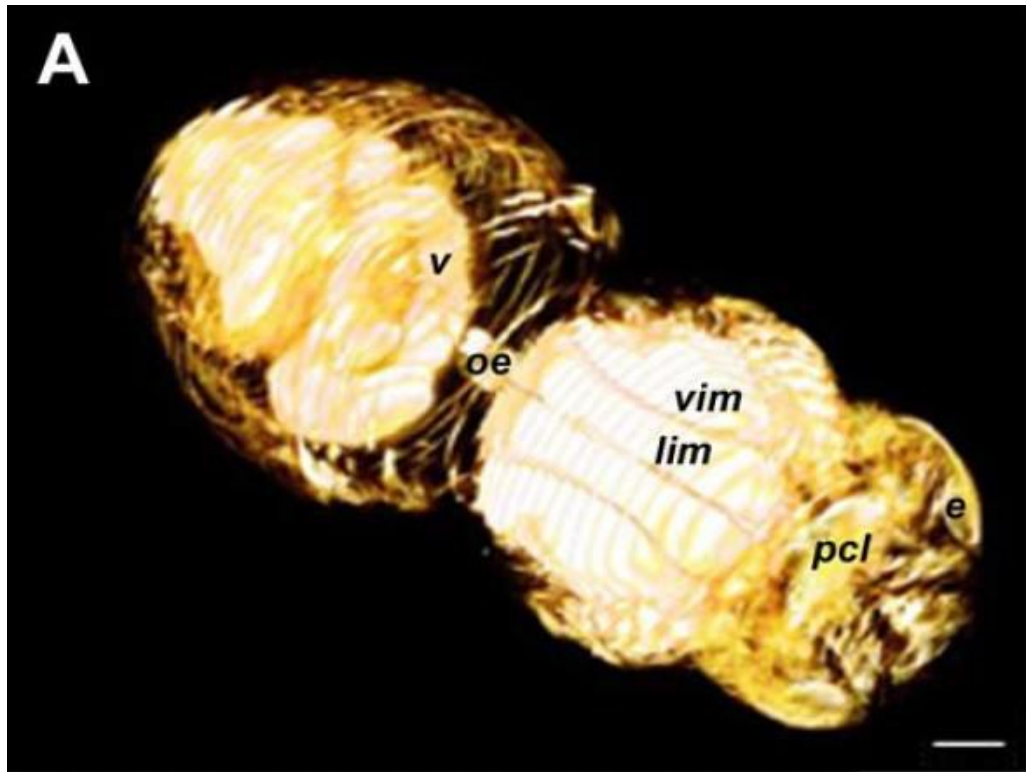


Figura 12: Reconstrução tridimensional da rainha *Vespula vulgaris*, vista de cima (adaptado de HART, 2003).

Como já dito anteriormente, essa técnica não é útil em seres vivos que possuem materiais magnéticos ou paramagnéticos, como sensores em sua estrutura fisiológica, sendo então isso uma desvantagem. Outra desvantagem é a necessidade de se manter imóvel o objeto de trinta minutos à uma hora. Aparelhos de ressonância menores e mais potentes estão sendo desenvolvidos para uso em humanos e animais, como o *Ressonic Plus*, feito por alunos mineiros (RADIOLOGIA EM PAUTA, 2017).

6.7 ULTRASSOM

O ultrassom tem a vantagem de gerar em tempo real imagens para serem analisadas ou salvas, em todas as direções, sem apresentar efeitos nocivos, independente da faixa de frequência, e não usar radiação, podendo visualizar diferentes tipos de tecidos, podendo também se ver a movimentação das estruturas internas – como vasos sanguíneos, elasticidade de tecidos, movimentação de órgãos, etc. –, podendo ser usado em todas as áreas de pesquisa (CÂMARA, 2015, p.2). Através desta tecnologia, Martins *et al.* (2014, p.2273) provou que tal técnica é pode ser usada em animais *in vivo*, sendo assim aplicável a vários outros organismos. Em sua pesquisa, os

animais também foram anestesiados e posicionados fixos sobre a mesa experimental, recobertos de gel, usado nos testes de ultrassom. D'AGOSTINI (2017) também testou a técnica em ratos, para acompanhar a reparação do músculo após uma lesão, como observado na **figura 13**.

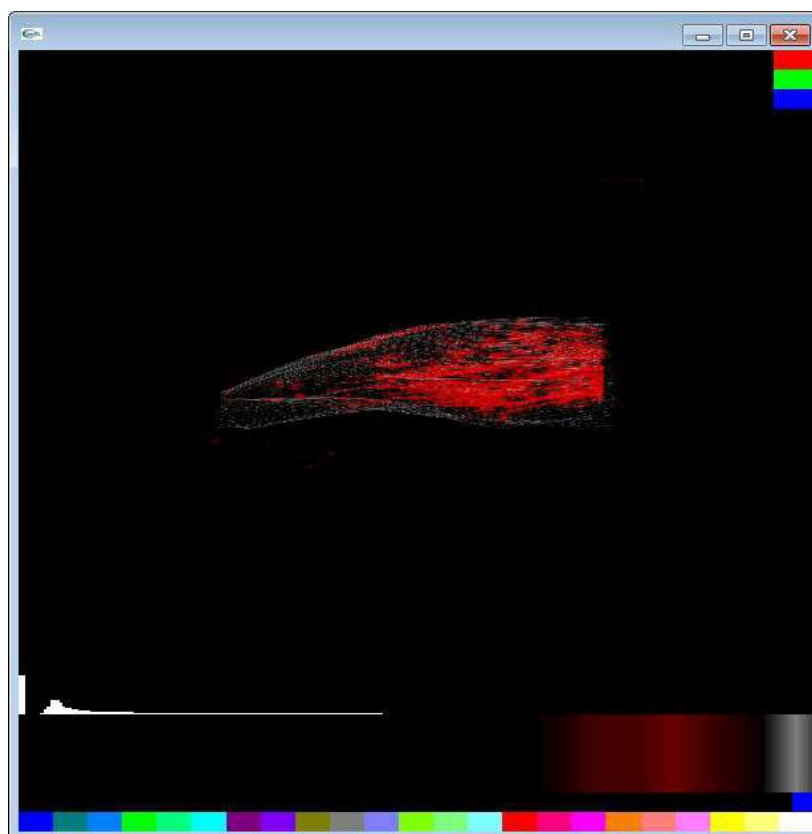


Figura 13: Imagem de BMU-3D do membro posterior direito de um rato (retirado de D'AGOSTINI, 2017, p.51)

A autora ainda ressalta que as imagens em 2D retiradas do animal são estáticas, mas que podem ainda serem reconstruídas em 3D, de forma estática ou de movimento, dando assim uma visão mais geral do processo de reconstrução óssea da lesão (D'AGOSTINI, p.58). Assim, pode-se, em tese, obter imagens de insetos em geral em sua forma natural, *in vivo* e em movimento.

Apesar de o animal precisar estar mergulhado em líquido para o ultrassom funcionar melhor, o que seria uma desvantagem para animais aéreos, a mesma desvantagem desaparece quando falamos de animais marinhos (peixes, insetos aquáticos, entre outros), pois na água o ultrassom funciona normalmente, da mesma forma que os sonares. Em 2009, Snelgrove (2009) apresentou ao mundo o projeto de pesquisa de seu grupo canadense para criar um censo da vida do oceano. O pesquisador explica que pela acústica que temos uma melhor forma de se interagir e obter informações do oceano, pois as ondas sonoras atravessam melhor o meio líquido, refletem e podem

ser medidas com maior precisão, podendo o pesquisador à distância contar o número de peixes em um cardume em segundos (SNELGROVE, 2013).

6.8 AS TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA ANÁLISE DE SISTEMAS BIOLÓGICOS

Primeiramente, foram separadas as diferentes técnicas de captura de imagem que poderiam ser usadas para auxiliar as pesquisas científicas, apontadas por pesquisadores como substitutas as técnicas convencionais de análise entomológicas (SILVA, 2008). Após isso, cada uma das técnicas foi pesquisada separadamente, sendo anotados os dados obtidos, para verificar a aplicabilidade destas técnicas em suas diferentes áreas afins, e se já houve resultados por outros pesquisadores. Para tal objetivo, foram analisados um total de 100 artigos: 90 sobre as técnicas propostas e 10 artigos sobre o uso de insetários na biologia, como podemos observar abaixo:

- **Fotogrametria – 13 artigos:** 4 teóricos, 4 em temas de Biologia, 5 em Entomologia;
- **Interferometria holográfica digital – 4 artigos:** 2 textos teóricos, 1 em Biologia e 1 na Entomologia;
- **Escaneamento a laser: 13 artigos:** 2 artigos teóricos, 4 aplicados na Biologia, 6 na Entomologia, 1 em outra área de pesquisa;
- **Modelagem em 3D – 14 artigos:** 3 teóricos, 4 em Biologia, 7 em Entomologia;
- **Reconhecimento de Padrões em Imagens – 6 artigos:** 2 em biologia, 2 em Entomologia, 2 em outras áreas;
- **Tomografia Computadorizada por Raios X ou Raios gama – 31 artigos:** 5 teóricos, 14 em Biologia, 11 em Entomologia, 1 em outra área;
- **Tomografia Computadorizada por Ressonância Magnética – 3 artigos:** 2 em Biologia, 1 em Entomologia;
- **Ultrassom – 6 artigos:** 1 teórico, 4 em Biologia, 1 em Entomologia;
- **Insetário – 10 artigos:** 7 propõem insetários convencionais, e somente 3 insetários virtuais.

Para ficar mais objetivo, foram separados os textos aplicados na biologia dos textos que aplicam estas técnicas exatamente na entomologia, objetivo deste trabalho (mesmo sabendo que poderiam ser postos também agrupados). Por “outras áreas” são os artigos que tratam de outros temas fora da Biologia, como a Geologia, Arquitetura, Engenharia, e outros, como demonstra a **tabela 1** abaixo:

Tabela 1: Resumo dos artigos analisados separados por áreas

	Teórico s	Biologi a	Entomologi a	Outras áreas	Artigos
Fotogrametria	4	4	5		13
Interferometria Holo.	2	1	1		4
Laser Escaneamento	2	4	6	1	13
Modelos 3D	3	4	7		14
Reconhecimento(PDI)		2	2	2	6
TC Raios X e gama	5	14	11	1	31
TC por Ressonância		2	1		3
Ultrassom	1	4	1		6
TOTAL DE ARTIGOS	17	35	34	4	90
Insetário tradicional					7
Insetário Virtual					3
TOTAL					100

Como se pode ver, de um total de cem artigos, dezessete foram teóricos, explicando a possibilidade de aplicabilidade de suas técnicas nas áreas descritas acima. Entretanto, dos 83 artigos que efetivamente aplicaram tais técnicas, 45% deles são de entomologia, o que nos comprova que tais técnicas alternativas já são uma realidade considerável em pesquisas entomológicas, impossível de se ignorar.

Essa pesquisa também nos fez ver como foi o avanço tecnológico de cada técnica em separado, já podendo várias delas hoje em dia serem aplicadas a organismos vivos mais recentemente, mesmo ainda com as ressalvas e imitações de cada técnica. O que também nos faz por em cheque o pensamento crítico que ainda mantém muitos pesquisadores longe destas alternativas, ainda não confiando em seus resultados, em decorrência aos métodos convencionais de captura, morte e dissecação, assim como de uma captura de um grande número de animais de mesma espécie, para comparação posterior (SILVA, 2008).

Como é notório, a lei apenas protege, da dor, os animais vertebrados do filo Chordata. O Entomologista, então, estaria em conformidade com a lei. Entretanto, estudos mais recentes pesquisam sobre a possibilidade de haver estes sentimentos previstos em lei em invertebrados, como moluscos e insetos. Em 2011, Elwood começa a indagar sobre tal possibilidade. Mais à frente, em 2015, em sua pesquisa com choque elétrico em caramujos, confirmam a existência de resposta de estresse, imperativo para a predição de dor (ELWOOD & ADAMS, 2015). Horvath *et al.* (2013) concluem que, apesar presunção de que alguns invertebrados não experimentam dor, estudos mais recentes sugerem que são capazes de sentirem dor e estresse, e algumas espécies aparentam capacidade cognitiva comparável com a nossa, como pensar e apresentar personalidades.

Barron & Klein (apud TIFFIN, 2016) argumenta que as descobertas neurológicas, como respostas a analgésicos e presença de hormônios de estresse em cérebros de insetos, contribuem para a presunção de existência de dor nestes animais invertebrados – “Não só dor, mas de consciência”, mesmo animais sem córtex cerebral apresentam indícios de consciência, como afirma Tiffin (2016).

Edelman (2009) conclui que a aproximação de uma possível consciência animal requer um enquadramento teórico e evidências experimentais relevantes, em neuroanatomia, neurofisiologia, comportamento, usando humanos como parâmetro (EDELMAN, 2009). Entretanto, em sua observação moral da importância de animais pequenos, Knutsson sugere que estes animais podem apresentar estados mentais negativos, que podem ser sencientes, e que este pensamento pode alterar as nossas ações em estudos e pesquisas envolvendo tais pequenos animais, e que esse pensamento pode ser levado também ao número de indivíduos (KNUTSSON, 2015).

Pensamentos como estes levaram o grupo do pesquisador Philip Low a escrever e publicar a Declaração da Consciência de Cambridge (LOW, 2012), que estabelece a afirmação oficial e científica sobre a notação de existência de consciência em animais não-humanos, muito importante marco para o nosso século, envolvendo pesquisadores dos campos da biologia, anatomia, neurologia, medicina, psicologia, entre outros. Neindre (2017), em sua dissertação sobre a consciência animal, lista os termos nas diferentes pesquisas já publicadas que tratam do tema, como autonotoriedade, cognição, mente consciente, emoções, sentimentos, metacognição, sencientes, auto-consciência, entre outros, para demonstrar que muito já tem sido pesquisado no tema nos últimos vinte anos. O autor conclui que a existência de uma grande gama de consciência levanta questões morais em como nós capturamos, manuseamos, confinamos e matamos os animais.

Ao que tudo indica, brevemente, teremos que rever nossas leis atuais sobre o tema. Independentemente, ainda temos que prezar eticamente pelo uso do critério dos três erres, substituição (*replacement*), redução e refinamento (RENAMA, 2018) na captura, uso e eutanásia de animais para pesquisas científica.

Em seu estudo sobre a utilização de métodos alternativos, Rodrigues (2011) entrevista professores/pesquisadores da área de saúde e ciências biológicas de vários cursos da PUCRS, para ver seu entendimento sobre o assunto e dos cursos que fazem. Sua pesquisa foi feita segundo os seguintes fatores: descontentamento dos docentes sobre a eficiência dos métodos alternativos; falta de oportunidade de testá-los; resistência à mudança de alguns professores; falta de recursos financeiros e estudos sobre esses métodos. Segundo os resultados de seu estudo, 10% dos docentes não tinham conhecimento da ética com animais; 86,6% já usaram animais em práticas; 18,3%

discordam do uso de alternativas e 16,5% nem pensaram no assunto; metade não se preocupa com o bem-estar dos animais, mas 89,7% se mostra sensibilizado com o sofrimento destes; apenas 48,2% se preocupam em diminuir o número de espécimes usados nas pesquisas, e apenas 36,8% nas práticas de ensino. Ela afirma que, na realidade, qualquer atividade envolvendo uso de animais deve envolver justificadas no tocante a possibilidade do uso de métodos alternativos, número de animais a serem utilizados e quantas vezes o experimento terá de ser repetido (RODRIGUES, 2011, p.581).

A autora também define “métodos alternativos” como métodos que resultam na redução do número de animais utilizados, que obtêm um refinamento nos procedimentos envolvendo animais ou na substituição dos mesmos por partes do corpo, cultura de células, modelos não vivos ou computadorizados (STOKES & JENSEN, 1995, *apud* RODRIGUES, 2011).

7 CONCLUSÃO

Após a pesquisa inicial, foram levantadas as técnicas de captura de imagem que podem substituir várias das técnicas convencionais de estudos de animais, que são: o (1) Reconhecimento de Padrões em imagens (RPI ou PDI); (2) Modelagens em 3D; a (3) Fotogrametria; o (4) Escaneamento a Laser; a (5) Interferometria Holográfica Digital; a (6) Tomografia Computadorizada, por Raios X ou Gama; a (7) Tomografia Computadorizada por Ressonância Magnética; e a (8) ultrassonografia em 3D.

Todas estas técnicas já foram usadas em pesquisas entomológicas nos últimos dez anos, mas que, por serem técnicas recentes, muitas ainda estão em desenvolvimento, apesar de promissoras. As técnicas (1) e (3) são as mais promissoras para uso em campo, que não dependerão da captura de animais, caso o objetivo seja a identificação dos mesmos, catalogação ou contagem de quantidade. A PDI (1) oferece ao pesquisador uma ferramenta testadamente confiável de contagem e identificação de insetos, já tendo sido usada em fotos tiradas por *drones*, por fotos de câmeras de biólogos ou por imagens de celulares. Ela dependerá de um modelo previamente registrado que servirá como base de identificação, como um inseto já registrado por foto anteriormente. Da mesma forma, a técnica necessitará de um banco de dados com as mais variadas espécies já catalogadas em registro online ou móvel, assim como a possibilidade de criar novas entradas de registro. A fotogrametria (3), além do modelo e banco de dados já citado, necessitará de um aparelho que tire várias fotos de um mesmo animal em vários ângulos, para que, em campo, seja possível a criação do modelo em 3D, objetivo da técnica – tal aparelho ainda não existe, mas sua construção não é impossível com a tecnologia hoje existente, a partir de um projeto específico a esse fim. Entretanto, os modelos em 3D já criados, armazenados em banco de dados, podem ser usados em campo para identificação de espécies em fotos comuns, como na técnica anterior, usando um dos programas de reconhecimento de imagens, próprio ou genérico.

A modelagem em 3D (2), usando modelos impressos, imagens em tela ou em RA, pode substituir, no ensino, o uso de espécimes mortos nas aulas de morfologia e anatomia, assim como os vídeos de dissecação que já são usados em muitos dos casos. A captura de espécimes para os acervos locais ainda serão necessários. Acervos de espécimes capturadas vivas ou mortas ainda são a base para estudos de fisiologia, de análise de DNA, análise de interior do aparelho digestivo, análise de pólen e outras quaisquer substâncias que possam vir presas ao exterior do corpo, etc. Ainda assim, os modelos em 3D substituem a necessidade de criação de insetários convencionais,

feitos por professores e estudiosos individuais, além de centros educativos e de pesquisa que não criam acervos locais regulamentados. Insetários virtuais ou com modelos impressos em 3D criados a partir dos acervos físicos já foram propostos, testados e bem recebidos pelo público.

As técnicas que precisam de aparelhos especiais (4, 5, 6 e 7) ainda estão restritas ao uso interno, devido a sua imobilidade ou pela necessidade de luminosidade diferenciada, ou uma grande fonte de energia. Outro fator que ainda inviabiliza essas técnicas é a necessidade de usar um contraste venoso ou a preparação prévia da amostra, para que o objeto seja melhor visível pelos aparelhos de captura de imagens (raio laser, raios x, fluorescência), tirando a IHD (5) e a TC por RM (7), que fornece imagens em tempo real, nem necessidade de preparação da amostra. Todas elas já foram provadas serem possíveis o teste *in vivo*. Entretanto, ainda necessitam de que a amostra fique imóvel por minutos ou horas, também tornando a análise *in vivo* inviável, a não ser que esteja sedado. Isto não é necessário com a IHD (5), que pode ser feita até mesmo com um inseto em pleno voo (o mesmo foi feito utilizando uma junção das técnicas (3) e (4), ao se fotografar em alta velocidade o voo de uma libélula ou pássaro com um feixe laser apontado para ela).

A técnica mais utilizada hoje é a Tomografia Computadorizada, apesar de custosa, imóvel, radioativa e demorada, mas que fornecer dados precisos está sendo a preferida. A ressonância magnética é a mais promissora, entretanto não pode ser usada em objetos metálicos ou que tenham propriedades magnéticas. Na **tabela 2**, podemos ver uma sistematização de todas essas técnicas, suas desvantagens e quais podem substituir a coleta.

Tabela 2: Sistematização das técnicas alternativas ao uso de animais em pesquisas

Técnica	Vantagens	Desvantagem	Pesquisas feitas	Uso de animais
(1) Reconhecimento de Padrões em Imagens	Pesquisa de contagem e identificação de animais; Não captura necessária, fora a análise inicial; Rápida contagem e identificação automática; Capacidade de pesquisa à distância.	Tecnologia em desenvolvimento (softwares); Aparelho de fotografar de alta qualidade de imagens e Iluminação necessários; Tratamento prévio das imagens.	Silva(2016); Tetila <i>et al.</i> (2017); Freitas (2015).	Substitui Totalmente; Sem captura.
(2) Modelos em 3D	Não captura necessária, fora a criação do modelo inicial; Criação de insetários virtuais, com RA, ou impressão 3D.	Tecnologia em desenvolvimento; Modelos criados manualmente são imprecisos – melhor se feito com modelos criados a partir de outras técnicas mais próximas à realidade.	Faria <i>et al.</i> (2017); Malfatti <i>et al.</i> (2014); Menezes (2017); Zhang <i>et al.</i> (2010); Machado&Miquelin (2016a).	Substitui Parcialmente; Sem captura.
(3) Fotogrametria	Modelos 3D exteriores mais parecidos com o real; Análise não destrutiva Possibilidade de cores e tamanho reais; Possibilidade de uso com programas de PDI e RA. Capacidade de pesquisa à distância.	Tecnologia em desenvolvimento; Criação de banco de dados trabalhosa e lenta; Requer captura de imagem de alta resolução; Apenas análise exterior; Captura de animais ainda necessária.	Koehler <i>et al.</i> (2012); Nguyen <i>et al.</i> (2017a); Chiari <i>et al.</i> (2008); Breuer <i>et al.</i> (2007); Wallace <i>et al.</i> (2004);	Substitui Parcialmente; Minimiza a captura.
(4) Escaneamento a laser	Análise externa e interna; Muitos tipos de scanners no mercado; Análise não destrutiva, não invasiva; Uso na microscopia; Possibilidade futura de uso <i>in vivo</i> .	Muitas técnicas diferentes: é necessário selecionar qual se adequa melhor à pesquisa em questão; Prevê uma preparação prévia para fixar e deixar visível o espécime, custoso e por vezes letal. Entretanto, já usado <i>in vivo</i> .	Klaus <i>et al.</i> (2003); Lee <i>et al.</i> (2007) e (2009); Bitencourth <i>et al.</i> (2007); Paulus <i>et al.</i> (2014)	Normalmente, não substitui a coleta. Minimiza a captura;
(5) Interferometria Holográfica Digital	Análise não destrutiva, não invasiva; Visualização em tempo real; Análise de animais vivos, em movimento.	Poucas pesquisas no tema;	Brito (2015); Aguayo <i>et al.</i> (2010),	Minimiza a captura.
(6) TC por raios X ou Gama	Análise externa e interna; Capacidade de evidenciar ossos, cartilagens, órgãos internos. Não destrutiva, não invasiva; De alta precisão de volume e densidade (1 a 10 µm).	Aparelhos inda não móveis e caros. Necessidade de preparação prévia, com sedação e uso de contraste venoso (não sendo necessário em pesquisas mais recentes), <i>in vivo</i> ;	Friedrich & Beutel (2008); Alba-Tercedor (2012); Ribi <i>et al.</i> (2008); Santos <i>et al.</i> (2013); Tarver et al (2006);	Minimiza a captura.
(7) TC por ressonância magnética	Análise externa e interna; Não destrutiva, não invasiva, não nociva; Análise de animais vivos e em movimento, sem reparação prévia. Alta precisão de volume e densidade (80 a 100 µm).	Aparelhos inda não móveis e caros. Impossibilidade de ser usado em animais que contem materiais magnéticos ou paramagnéticos; Necessidade de se manter imóvel de 30min a 1h.	Tiferes <i>et al.</i> , (2003); Hart <i>et al.</i> (2003);	Substitui Parcialmente
(8) Som e Ultrassom	Análise externa e interna; Visualização em tempo real; Capacidade de evidenciar vasos sanguíneos, movimentação de órgãos, elasticidade de tecidos; Não destrutiva, não invasiva; De alta precisão de volume e densidade (30 a 50 µm).	Uso de gel (dispensável em animais aquáticos); Fixação em alguns casos; Não recomendável para animais com estruturas frágeis (pela fixação e gel).	Martins <i>et al.</i> (2014); D'Agostini (2017); Snelgrove (2009)	Substitui Parcialmente. Totalmente para animais aquáticos(sem captura).

Por ultimo, a (8), que usa ondas sonoras, é a técnica que mais tem chamado a atenção, por ser móvel, barata, precisa, não destrutiva, não tóxica e com bom alcance. Porém, pouco tem sido usada devido a sua grande limitação: seu melhor uso é dentro de materiais líquidos. Enquanto essa limitação não for ultrapassada, estará restrita ao uso de animais aquáticos, ou espécimes que possam ser imersas, sem maiores danos.

Essas técnicas, sozinhas ou aplicadas simultaneamente, possibilitam facilmente a diminuição do número dos animais que são capturados ou mortos anualmente para pesquisas científicas, dando um novo paradigma para o que se pensa ser a pesquisa envolvendo animais, de uma forma mais ética e moral. Perseguir os preceitos técnicos aqui propostos é imprescindível para uma ciência mais avançada, não acomodada e mais consciente de seu papel ecológico.

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para uma continuação dessa pesquisa, como possíveis e necessários desdobramentos, é imprescindível pensar no desenvolvimento de programas ou aplicativos próprios para reconhecimento de espécimes, para ser usado por biólogos por todo o Brasil, assim como a criação de banco de dados virtuais de base pública, com os modelos registrados destes animais, seja por foto bidimensional ou por criações em 3D, como apresentado neste trabalho. Isso ajudaria o registro de espécimes sendo avistadas por todo o território nacional, seja por biólogos, ou por amadores, com câmeras ou celulares com um aplicativo de reconhecimento. Outra ação é a criação de aparelhos móveis para a aplicação das técnicas citadas (4, 5, 6, 7) em campo, como aparelhos de fotogrametria, de TC, escaneamento a laser ou análise ultrassônica do ambiente. Essa etapa prevê a integração entre profissionais de diversas áreas do conhecimento, como engenheiros, biólogos, técnicos de informática, programadores e áreas afins, para que seja efetiva a criação de tecnologias nacionais nessas áreas, além do aperfeiçoamento dessas técnicas. Vencer essas limitações de mobilidade, custo, luminosidade ou de energia iria modificar totalmente a conclusão deste artigo, tornando tais técnicas não só mais úteis, como indispensáveis ao pesquisador de campo no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DE DIREITOS ANIMAIS. **Testes: Universidade na Inglaterra mata mais de 81 mil animais por ano**. Publicado em 21 de nov. de 2016. Disponível em: <<https://www.anda.jor.br/2016/11/testes-universidade-na-inglaterra-mata-mais-de-81-mil-animais-por-ano/>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

AGUAYO, Daniel D.; SANTOYO, Fernando Mendoza; TORRE, Manuel H. De La; SALAS-ARAIZA, Manuel D.; CALOCA-MENDEZ, Cristian; HERNANDEZ, David Asael Gutierrez. **Insect wing deformation measurements using high speed digital holographic interferometry**. OSA 15 March 2010 / Vol. 18, No. 6 / OPTICS EXPRESS 5661, 4 Mar 2010.

ALBA-TERCEDOR, Javier. A simple solution to help mounting centered samples to scan when using the Skyscan micro-CT attachment for SEM. **SkyScan Micro-CT Users Meeting 2012** :192-195, 2012. Disponível em:<https://microscopy-analysis.com/sites/default/files/magazine_pdfs/2014_March_Tercedor.pdf>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

ALBA-TERCEDOR, Javier; ALBA-ALEJANDRE, Ignacio. Comparing micro-CT results of insects with classical anatomical studies: The European honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) as a benchmark (Insec: Hymenoptera, Apidae). Department of Zoology. Faculty of Sciences. University of Granada. Campus de Fuentenueva, 18071- Granada. Spain, **Micro-CT Users Meeting 2017**. Disponível em:<http://bruker-microct.com/company/UM2017/2017_oral31_Alba-tercedor.pdf>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

ALBA-TERCEDOR, Javier; CAPARRÓS, Carmen Sáinz-Cantero. Studying Aquatic Insects Anatomy with the SkyScan 1172 highresolution micro-CT. **SkyScan User Meeting 2010**, 2010, Vol. 2, 3–6.

ALBA-TERCEDOR, Javier; CAPARRÓS, Carmen Sáinz-Cantero. **Studying Aquatic Insects Anatomy with the SkyScan 1172 high-resolution micro-CT**, 2018. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/268438066_Studying_Aquatic_Insects_Anatomy_with_the_SkyScan_1172_high-resolution_micro-CT>. Acesso em: 25 de jun. de 2018.

ALBUQUERQUE, Felícia Ferreira; MILLEO, Julianne; LIMA, João Marcos Machuca; BARBOLA, Ivana de Freitas. Entomologia no ensino médio técnico agrícola: Uma proposta de trabalho. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 8, n. 3, p. 251-265, 2014. ISSN 1982-7199 | DOI: <http://dx.doi.org/10.14244/198271991030>.

ALMEIDA-MATOS, Marcos; SANTOS-GUSMAO, Maurício. Valor Diagnóstico da Ressonância Magnética na Avaliação da Dor Lombar. **Rev. Salud Pública**. 10 (1):105-112, 2008.

AMARAL, Roberta Veronese. Análise de estruturas intracranianas em exemplares recentes e fósseis de Folivora (Xenarthra, Pilosa). Rio de Janeiro, 2016. **Dissertação**. Mestrado em Biodiversidade e Biologia Evolutiva - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2016.

ANDRIAN, I. de F.; KAMINSKI, A. C.; SANGIK, R. B. Coleção didática de insetos: um projeto de ensino do departamento de biologia.. **Arq. Apadec**, 4(2): jul.dez., 2000.

BENSUSAN, Nurit. A impossibilidade de ganhar a aposta e a destruição da natureza. In: BENSUSAN, Nurit (org.) *et al.*. **Seria melhor mandar ladrilhar?** Biodiversidade como, para que, por quê. Editora da Universidade de Brasília: Brasília, 2002.

BIASSUSI, M.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. Estudo da deformação de um vertissolo por meio da tomografia computadorizada de dupla energia simultânea. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:1-7, 1999. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n1/01.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

BITENCOURTH, Karla; TEIXEIRA, Rodrigo Hidalgo Friciello; AMORIM, Marinete; GAZETA, Gilberto Salles; SERRA-FREIRE, Nicolau Maués. Análise do número de cerdas internas do órgão de Haller de larvas de *Amblyomma nodosum* Neumann (Acari, Ixodidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, 51(1): 58-61, março, 2007.

BOARETTO, Maria Aparecida Castellani; BRANDÃO, André Luiz Santos. **Amostragem de insetos**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia: Vitória da Conquista, BA, 2000.

BRASIL. DECRETO Nº 6.899, de 15 de julho de 2009. Dispõe sobre a composição do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA, estabelece as normas para o seu funcionamento e de sua Secretaria-Executiva, cria o Cadastro das Instituições de Uso Científico de Animais - CIUCA, mediante a regulamentação da Lei no 11.794, de 8 de outubro de 2008, que dispõe sobre procedimentos para o uso científico de animais, e dá outras providências. **Diário Oficial**. Brasília, DF, jul. de 2009. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111794.htm>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

BRASIL. LEI Nº 11.794, de 8 de outubro de 2008. Regulamenta o inciso VII do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelecendo procedimentos para o uso científico de animais; revoga a Lei no 6.638, de 8 de maio de 1979; e dá outras providências. **Diário Oficial**. Brasília, DF, out. de 2008. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111794.htm>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

BRASIL. LEI Nº 9.605, de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial**. Brasília, DF, fevereiro de 1998. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

BRITO, Isis Vasconcelos. Técnicas de Microscopia Holografia Digital aplicadas à análise de sistemas biológicos. **Tese**, Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-11012016-131143/publico/Texto_IsisBrito.pdf>. Acesso em: 28 de fev. de 2018.

CÂMARA, Danilo Januário. Plataforma de ultrassom programável dedicada à pesquisa. 2015. **Dissertação** (Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2015. DOI:10.11606/D.59.2015.tde-24072015-144954. Acesso em: 2018-05-12.

CAMARGO, Amábilio José Aires. **Coleções entomológicas**: legislação brasileira, coleta, curadoria e taxonomia para as principais ordens. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2015/livros/amabilio_01.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

CAMARGO, Marcelo Antonio Ribeiro; ABACKERLI, Alvaro Jose. **Criação de modelos 3D a partir de imagens**. UNIMEP: São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/4mostra/pdfs/210.pdf>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

CARVALHO, Caio Antunes de. Morfologia pretarsal, anatomia cefálica, e a evolução de Cholevinae (Coleoptera: Leiodidae). 2017. **Tese** (Doutorado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41133/tde-26062017-113830/>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

CARVALHO, Luciana Barbosa de. Análise de estruturas intracranianas em Mariliasuchus amarali (Crocodyliformes, Notosuchia) do Cretáceo Brasileiro. **Tese**. UFRJ/ Museu Nacional: Rio de Janeiro, 2007.

CAVALCA, Marcos Bonci. **MedSquare**: Plataforma modular para exploração de imagens tomográficas. USP: São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~cef/mac499-09/monografias/marcos-bonci/monografia.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

CELSO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002

CHIARI, Ylenia; WANG, Bing; RUSHMEIER, Holly; CACCONE, Adalgisa. Using digital images to reconstruct three-dimensional biological forms: a new tool for morphological studies. **Biological Journal of the Linnean Society**, Volume 95, Issue 2, 1 October 2008, Pages 425–436, disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.01055.x>>. Acesso em: 20 de jun. de 2018.

CHIESA, Alexandre Feliz da Silva; MODENA, Guilherme; DIEL, Marcelo. Coleção Entomológica. **VI Mostra Nacional de Iniciação científica e Tecnológica Interdisciplinar**, IFC. Santa Catarina, out. de 2013. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/35925823-Colecao-entomologica.html>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

COMPUTERWORLD. Ferramenta permite criar aplicações que entendam o conteúdo de uma imagem ao usar modelos de aprendizado de máquina. **IDG News Service**. Publicado em 18 de Fevereiro de 2016 - 17h46. Disponível em: <<http://computerworld.com.br/google-libera-api-de-reconhecimento-de-imagem-para-desenvolvedores>>. Acesso em: 02 de jun. de 2018.

CONSELHO FEDERAL DE BIOLOGIA. RESOLUÇÃO Nº 2, DE 5 DE MARÇO DE 2002. **Código de Ética do Profissional Biólogo**. Brasília, DF, Março de 2002. Disponível em: <<http://www.cfbio.gov.br/artigos/RESOLUCAO-N%C2%BA-2-DE-5-DE-MARCO-DE-2002>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

CONSELHO NACIONAL DE CONTROLE DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL. **Diretrizes da Prática de Eutanásia do CONCEA**. Brasília/DF : MCTI/CONCEA, 2013, 54p. Disponível em:<http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/institucional/concea/arquivos/legislacao/resolucoes_normativas/Resolucao-Normativa-CONCEA-n-13-de-20.09.2013-D.O.U.-de-26.09.2012-Secao-I-Pag.-5.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

CRUVINEL, Paulo Estevão. Minitomógrafo de raio-x e raio-gama computadorizado para aplicações multidisciplinares. **Tese**. UNICAMP: Campinas, SP, 1987.

CRUZ, Aline Helena; OLIVEIRA, Elaine Ferreira de; FREITAS, Rafael Alves. **Manual simplificado de coleta de insetos e formação de insetário**. EaD em Biologia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte: Rio Grande do Norte, 2009. Disponível em:<http://www.uern.br/professor/arquivo_baixar.asp?arq_id=7697>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

D'AGOSTINI, Juliana Geremia. Imagem 3D de biomicroscopia ultrassônica do gastrocnêmio lateral de rato em processo de reparação após lesão por laceração. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia Biomédica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. 2017.

DINLEY, J *et al.*. Micro-computed X-ray tomography: a new non-destructive method of assessing sectional, fly-through and 3D imaging of a soft-bodied marine worm. **Journal of Microscopy**, Vol. 238, Pt 2 2010, pp. 123–133 doi: 10.1111/j.1365-2818.2009.03335.x. 2 September 2009.

DORAN, Simon J.; KOERKAMP, Koen Klein; BERO, Mamdouh A.; JENNESON, Paul; MORTON, Edward J.; GILBOY, Walter B. A CCD-based optical CT scanner for high-resolution 3D imaging of radiation dose distributions: equipment specifications, optical simulations and preliminary results. **Physics in Medicine & Biology**, Volume 46, Number 12, 2001. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/46/12/309/meta>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

EDELMAN, David B.; SETH, Anil K. Animal consciousness: a synthetic approach. **Trends in Neurosciences** Vol.xxx No.x -719; No of Pages 9, 0166-2236/\$ – 2009, Elsevier Ltd. All rights reserved. DOI:10.1016/j.tins.2009.05.008.

EICKHOFF R.; LORBEER, R-A; SCHEIBLICH, H.; HEISTERKAMP, A.; MEYER, H.; STERN, M. et al. Scanning Laser Optical Tomography Resolves Structural Plasticity during Regeneration in an Insect Brain. **PLoS ONE** 7(7): e41236, 2012. Disponível em:<<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041236>>.

ELWOOD RW. **Pain and suffering in invertebrates?** ILAR J. 2011;52(2):175-84. PubMed PMID: 21709310. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21709310>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

ELWOOD, Robert Williams; ADAMS, Laura. Electric shock causes physiological stress responses in shore crabs, consistent with prediction of pain. **Biol Lett**. 2015 Nov;11(11). pii: 20150800. doi: 10.1098/rsbl.2015.0800. PubMed PMID: 26559514; PubMed Central PMCID: PMC4685546.

ÉTICA ANIMAL. **Experimentação biomédica com animais**. Disponível em: <<http://www.animal-ethics.org/experimentacao-animais/experimentacao-biomedica-animais/>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

FARIA, Júlio César Leal de; ORTONCELLI, André Roberto; BEAL, Franciele; LOZANO, Everton Ricardi. Uso de modelagem 3D aplicada ao ensino de entomologia com ênfase em peças bucais. **IV CONGRESSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UTFPR CÂMPUS DOIS VIZINHOS**, UTFPR, Nov. de 2017. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/dv/index.php/CCT_DV/article/view/1720/1109>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

FAULWETTER, Sarah; DAILIANIS, Thanos; VASILEIADOU, Aikaterini; ARVANITIDIS, Christos. **Investigation of contrast enhancing techniques for the application of Micro-CT in marine biodiversity studies**. Institute of Marine Biology and Genetics, Hellenic Centre for Marine Research, Thalassocosmos, P.O. Box 2214, 71003 Heraklion, Crete, Greece, 2012.

FERNANDES, Ana Maria da Rocha; COMUNELLO, Eros; MACHADO, Fábio Duarte. Análise do movimento humano por videogrametria. **Ix SEGET, Simpósio de Excelência em Gestão e Economia**, 2012. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/21016158.pdf>>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

FERNANDES, Patrícia Garani. Aplicação da Microtomografia Computadorizada para a análise morfométrico bi e tridimensional na avaliação da perda óssea experimental em ratos. **Tese de Doutorado**. USP: Ribeirão Preto, SP, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/58/58132/tde-15072014-165529/publico/DO_Patricia_Fernandes_Original.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

FIGUEIREDO, Carina Marcello de. Estudo das estruturas internas do crânio de um Pelomedusoides (Testudines, Pleurodira) pertencente ao paleógeno brasileiro. **Tese de Mestrado**. Museu Nacional – Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2017.

FLANAGAN, Daniel; MERCER, Alison R. An atlas and 3-D Reconstruction of the antennal lobes in the worker honey bee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera : Apidae). **Int. J. InsectMorphol. & Embryol.** Vol. 18, No. 2/3, pp. 145-159, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(89\)90023-8](https://doi.org/10.1016/0020-7322(89)90023-8).

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996, pp. 16 e 17.

FREITAS, Ueliton. Identificação de espécies de peixes utilizando histogramas de palavras visuais em imagens coloridas. **Dissertação**, UFMS, 2015. Disponível em: <<https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/1756>>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

FRIEDRICH, Frank. BEUTEL, Rolf G. Micro-computer tomography and a renaissance of insect morphology. **Proc. of SPIE**, Vol. 7078, 70781U, (2008) · 0277-786X/08/\$18 · doi: 10.1117/12.794057.

GENISE, Jorge F. & HAZELDINE, Patricia L. **3D Reconstruction of Insect Trace Fossils: Ellipsoideichnus meyeri Roselli**, *Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces*, 5:3, 167-175, 1998. DOI: 10.1080/10420949809386416.

GERALDES, Fernando Jorge Fernandes. **Reconhecimento de imagens por câmara de smartphone em tempo real**. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco. Escola Superior de Tecnologia. X, 2012, 68 p. Relatório.

GIGNAC, Paul M. *et al.*. Diffusible iodine-based contrast-enhanced computed tomography (diceCT): an emerging tool for rapid, high-resolution, 3-D imaging of metazoan soft tissues. **Jornal of Anatomy** (2016) 228, pp889—909. doi: 10.1111/joa.12449, 11 March 2016.

GIOVANINI, Dener. Por que é necessário regulamentar a caça no Brasil. **Estadão**, 09 de março de 2017. Disponível em: < <http://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/dener-giovanini/por-que-e-necessario-regulamentar-a-caca-no-brasil/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

GLOBO. Após denúncia de maus-tratos, grupo invade laboratório e leva cães beagle. Ativistas invadiram laboratório de pesquisa em São Roque nesta sexta (18). Empresa alega que realiza testes dentro de normas e exigências da ANVISA. **O GLOBO**, 18 de out. de 2013. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/noticia/2013/10/ativistas-invadem-e-levam-caes-de-laboratorio-suspeito-de-maus-tratos.html>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

GONÇALES, Rodrigo. Dispositivo de varredura laser 3D e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis. **Dissertação**. Escola Politécnica da USP, Editora Rev.: São Paulo, 2007.

GOVERNO DO BRASIL. Animais usados em pesquisas terão acompanhamento de veterinários. Publicado em 24 de jul. de 2012. **Agência Brasil**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2012/07/animais-usados-em-pesquisas-terao-acompanhamento-de-veterinarios>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

GOVERNO DO BRASIL. Conselho aprova documento sobre métodos alternativos ao uso de animais. Publicado em 04 de março de 2015. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/educacao-e-ciencia/2015/03/conselho-aprova-documento-sobre-metodos-alternativos-ao-uso-de-animais>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

GOVERNO DO BRASIL. Conselho interdita instituições que realizam testes em animais. Publicado em 03 de out. de 2013. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/educacao-e-ciencia/2013/10/conselho-interdita-instituicoes-que-realizam-testes-em-animais>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

GOVERNO DO BRASIL. Ministério quer representante de protetores de animais em conselho que autoriza pesquisa com bichos. **Diário Oficial da União**. Publicado em 13 de out. de 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/educacao-e-ciencia/2011/10/ministerio-quer-representante-de-protetores-de-animais-em-conselho-que-autoriza-pesquisa-com-bichos>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

GOVERNO DO BRASIL. Reconhecidos 17 métodos para uso de animais em pesquisas. Publicado em 25 de set. de 2014. **Imprensa Nacional**. Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/editoria/educacao-e-ciencia/2014/09/reconhecidos-17-metodos-para-o-uso-de-animais-em-pesquisas>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

HART, A. G; BOWTELL R. W; KÖCKENBERGER W, WENSELEERS T, RATNIEKS F. L. W. Magnetic resonance imaging in entomology: a critical review. 9pp. **Journal of Insect Science**, 3:5 Disponível em:<<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.219.2834>>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

HORVATH, Kelsey; ANGELETTI, Dario; NASCETTI, Giuseppe; CARERE, Claudio. **Invertebrate welfare: an overlooked issue**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, 2013. 49 (1): 9–17. doi:10.4415/ANN_13_01_04. PMID 23535125. Disponível em:<<http://old.iss.it/publ/anna/2013/1/4919.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

IWAN, Dariusz; KAMINSKI, Marcin Jan; RAS, Marcin. **The Last Breath: A mCT-based method for investigating the tracheal system in Hexapoda**. Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences, Wilcza 64, 00-679 Warsaw, Poland, 17 March 2015.

JONGERIUS, S.R.; LENTINK; D. Structural Analysis of a Dragonfly Wing. **Experimental Mechanics** (2010) 50:1323–1334. DOI 10.1007/s11340-010-9411-x, Setember 2010.

KEHLMAYER, Christian; DIERICK, Manuel; SKEVINGTON, Jeffrey H.. **Micro-CT studies of amber inclusions reveal internal genitalic features of big-headed flies, enabling a systematic placement of *Metanephrocera* Aczél, 1948** (Insecta: Diptera: Pipunculidae). Publicado online em www.senckenberg.de/arthropod-systematics em 8 de jun. de 2014.

KERBL, Alexandra; HANDSCHUH, Stephan; NÖDL, Marie-Therese; METSCHER, Brian; WALZL, Manfred; WANNINGER, Andreas. Micro-CT in cephalopod research: Investigating the internal anatomy of a sepiolid squid using a non-destructive technique with special focus on the ganglionic system. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 447 (2013) 140–148, 25 January 2013. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.02.022>>.

KLAUS, A. V.; KULASEKERA, V. L.; SCHAWAROCK V. Three-dimensional visualization of insect morphology using confocal laser scanning microscopy. **Journal of Microscopy**. Volume 212, Issue 2. Disponível em:<<https://doi.org/10.1046/j.1365-2818.2003.01235.x>>. Publicado em 12 November 2003.

KNUTSSON, Simon. **The Moral Importance of Small Animals**. University of Gothenburg. 12 of june of 2015. Disponível em:< http://www.phil.gu.se/cdpf/The-moral-importance-of-small-animals.-150607_1.pdf>. Acesso em 30 de junho de 2018.

KOEHLER, C.; LIANG, Z.; GASTON, Z.; WAN, H.; DONG, H. 3D reconstruction and analysis of wing deformation in free-flying dragonflies. **Journal of Experimental Biology**. 2012 Sep 1;215(Pt 17):3018-27. doi: 10.1242/jeb.069005. Epub 2012 Jun 1.

KRSTAJIC, Nikola; DORAN, Simon J. Fast laser scanning optical-CT apparatus for 3D radiation dosimetry. **Phys. Med. Biol.** 52, 2007. N257–N263 DOI:10.1088/0031-9155/52/11/N01.

KURANDA, Nickolay. **Holographic interferometer**. Youtube, 11s, 18 de out. de 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EZynG_qkGvM>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

LOW, Philip et. al. **The Cambridge Declaration on Consciousness**. Cambridge, 2012. disponível em <[http://fcmconference.org/img/Cambridge DeclarationOnConsciousness.pdf](http://fcmconference.org/img/Cambridge%20DeclarationOnConsciousness.pdf)>. Acesso em 26 de agosto de 2018.

LAISSUE, P.P.; REITER, C.; HIESINGER, P.R.; HALTER, S.; FISCHBACH, K.F.; STOCKER, R.F. Three-Dimensional Reconstruction of the Antennal Lobe in *Drosophila melanogaster*. **The Journal of Comparative Neurology**, 405:543–552, 1999. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10098944>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

LAYARA, Luenda. Uso de animas em pesquisas científicas - Lei nº 11.794/2008. **JusBrasil**. Disponível em: <https://luendalfa.jusbrasil.com.br/noticias/180344311/uso-de-animas-em-pesquisas-cientificas-lei-n-11794-2008?ref=topic_feed>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

LEE, SANGMI; BROWN RICHARD L .; MONROE, WILLIAM. Use of confocal laser scanning microscopy in systematics of insects with a comparison of fluorescence from different stains. **Journal compilation # 2009 The Royal Entomological Society, Systematic Entomology**, 34, 10–14.

LENHARO, Mariana. No Brasil, 41% da população é contra testes com animais, revela pesquisa. **O GLOBO**. Publicado em 12 de dez. de 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/12/no-brasil-41-da-populacao-e-contra-testes-com-animais-revela-pesquisa.html>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

LIU, Tsung-Li. Observing the cell in its native state: Imaging subcellular dynamics in multicellular organisms. **Science** 20 Apr 2018: Vol. 360, Issue 6386, eaaq1392. DOI: 10.1126/science.aaq1392. Publicado em 19 de abril de 2018. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/360/6386/eaq1392>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

MACEDO, A.; CRESTANA, S. Avaliação da macroporosidade e da densidade de partículas do solo através da microtomografia de raios-x. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:763-771, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n4/02.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

MACHADO, Elaine Ferreira; MIQUELIN, Awdry Feisser. A construção coletiva de um insetário virtual inspirada na obra de Maria Sibylla Merian (1647-1717) e mediada pelos smartphones e o aplicativo Instagram. **Revista Tecnologias na Educação**, Ano 8, número 14, Julho 2016a. Disponível em: <tecnologiasnaeducacao.pro.br>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MACHADO, Elaine Ferreira; MIQUELIN, Awdry Feisser. Guia Guia de construção do insetário virtual: a história de Maria Sibylla Merian (1647-1717), a construção do insetário virtual. **Dissertação de mestrado**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Curitiba, Paraná, 2016b. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1857/2/CT_PPGFCET_M_Machado%2C%20Elaine%20Ferreira_2016_1.pdf>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MALFATTI, Silvano M.; ARAÚJO, Francisco Daniel Gomes de; SILVA, Roberta Zani da. **Desenvolvimento de um Visualizador 3D, Interativo e Colaborativo Destinado à Exploração Científica de Objetos Virtuais**. Universidade de Tocantins: Tocantins, 2014. Disponível em: <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/acotb/article/view/5319>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MARINHO, Karine Menezes. **O uso de realidade aumentada e impressão 3D na elaboração de materiais didáticos de célula animal**. UFRJ: Rio de Janeiro, 2018.

MARTINE, Gabriela; SANTOS, Eliane Gonçalves dos. Construção de um insetário: utilizando a atividade prática como modalidade didática diferenciada nas aulas de ciências. **Revista da SBEnBio**, nº7, out. de 2014. Disponível em: <<https://www.sbenbio.org.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/11/R0346-1.pdf>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MARTINS, Natália Santos da Fonseca. **Geração de imagens 3D de biomicroscopia ultrassônica: validação da técnica e imagem volumétrica do gastrocnêmio lateral de rato in vivo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Apresentado no XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB 2014.

MATTOSO, Suelen. **Intervenção Insetário**. Unipampa, abril de 2016. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/35925823-Colecao-entomologica.html>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MENEZES, K. M. F. Reconstrução tridimensional do lobo olfativo do carrapato *Amblyomma sculptum* (Acari: Ixodidae). 2017. 41 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7088>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

METSCHER, Brian D. **MicroCT for comparative morphology**: simple staining methods allow high-contrast 3D imaging of diverse non-mineralized animal tissues. *BMC Physiology* 2009, 9:11 doi:10.1186/1472-6793-9-11. Disponível em: < <http://www.biomedcentral.com/1472-6793/9/11>>, 22 June 2009.

MILANETTI, Márcia Regina; ALVES, José Marcos; SILVA, Alessandro Hakme da; INTROINI, Simone Orlandi. Fracture healing valuation using X-ray microtomography. **Revista de Medicina**: São Paulo, 2011, abr.-jun.;90(2):89-93. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revistadc/article/download/58889/61868>>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **CONCEA**. Normativas do CONCEA para produção, manutenção ou utilização de animais em atividades de ensino ou pesquisa científica. Lei, Decreto, Portarias, Resoluções Normativas, Orientações Técnicas. Governo Federal: Brasília, DF, 2015. Disponível em: < <http://www.sindan.org.br/sd/img/outros/concea.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Resolução normativa n 13, de 20 de setembro de 2013**. CONCEA. Governo Federal: Brasília, DF, 2013. Disponível

em:<http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/institucional/concea/arquivos/legislacao/resolucoes_normativas/Resolucao-Normativa-CONCEA-n-13-de-20.09.2013-D.O.U.-de-26.09.2012-Secao-I-Pag.-5.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2018

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Resolução normativa n 17, de 20 de setembro de 2014**. CONCEA. Governo Federal: Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.agrarias.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/02/RN17-2014-Reconhecimento-de-m%C3%A9todos-alternativos-para-uso-de-animais-em-pesquisa.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2018

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Espécies ameaçadas de extinção**. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/especies-ameacadas-de-extincao>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

MORAIS, Vânia Cardoso da Silva; SANTOS, Adevailton Bernardo dos. **Ensino de Biologia: sequências didáticas com o uso de atividades experimentais**. Uberlândia, 2015. Disponível em:<<http://www.infis.ufu.br/pgcem/api/pdf/1468636886.pdf>>. Acesso em: 07 de jun. de 2018.

MURA, Wellington Della; OLIVEIRA, André L. de,. **Deteção automática da área foliar da soja danificada pela lagarta (*Anticarsia gemmatalis*) utilizando processamento digital de imagens**. 2016. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/268400839_Deteccao_Automatica_da_Area_Foliar_Danificada_da_Soja_atraves_de_Imagens_Digitais>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

NEINDRE, Pierre Le *et al.* Animal Consciouness. **External Scientific Report**, European Food Safety Authority, 2017-Em-1196, 2017. DOI:10.2903/sp.efsa.2017.EN-1196. Acesso em 30 de junho de 2018.

NGUYEN, Choung V.; LOVELL, D.R.; ADCOCK M; LA SALLE J. Capturing Natural-Colour 3D Models of Insects for Species Discovery and Diagnostics. **PLOS ONE journal** 9(4): e94346, abril de 2014. Disponível em:<<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094346>>.

NGUYEN, Chuong V.; ADCOCK, Matt; ANDERSON, Stuart; LOVELL, David; FISHER, Nicole; LA SALLE, John. Towards high-throughput 3D insect capture for species discovery and diagnostics. **Bigdig Workshop at 2017 Escience Conference**, CUL. arXiv:1709.02033 [cs.CV], submitted on 7 Sep 2017b. Disponível em:<<https://arxiv.org/abs/1709.02033>>. Acesso em: 10 de fev. de 2018.

NGUYEN, Chuong V.; ADCOCK, Matt; LOVELL, David; LA SALLE, John. Capturing natural-colour 3D models of insects for species Discovery and Diagnostics. 10.1371/journal.pone.0094346, **PLOS ONE journal**, 2014. Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV). arXiv:1709.02039 [cs.CV], Submitted on 7 Sep 2017a.

OLIVEIRA, Elna Mugarbi, GOLDIM, José Roberto. Legislação de proteção animal para fins científicos e a não inclusão dos invertebrados – análise bioética. **Revista Bioética**, Brasília, v.22, n.1, abr. 2014, pp. 45-56. Conselho Federal de Medicina Brasília, Brasil. Disponível em: <http://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica/article/view/882/971>. Acesso em: 11 Ago. 2015.

OLIVEIRA, Helena Vaz dos Santos. **Os animais não humanos no material didático do programa São Paulo Faz Escola**. 2015. 89 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado e licenciatura - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139012?show=full>>. Acesso em: 11 Ago. 2015.

PAULUS, Stefan; SCHUMANN, Henrik; KUHLMANN, Heiner; LÉON, Jens. High-precision laser scanning system for capturing 3D plant architecture and analysing growth of cereal plants. **Biosystems Engineering**, Volume 121, May 2014, Pages 1-11. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.01.010>>. Acesso em: 10 de jun. de 2018.

PECK, Robert L.; BAILEY, Jack B.; HECK, Richard J.; SCAIFF, Nathan T. X-Ray ct scan as an aid to identification and description of a new bivalve species (mollusca) from the mississippian bluefield formation, Southeastern West Virginia. **Journal of Paleontology**, V. 83, NO. 6, 2009.

PESSOA Jr, Oswaldo. Interferometria, Interpretação e Intuição: uma Introdução Conceitual à Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 19, no.1, março, 1997. Disponível em:<http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19_27.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2018.

PINHO, Carolina Moutinho Duque de; FEITOSA, Flávia da Fonseca; KUX, Hermann. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, Brasil. **Anais**. 16-21 abril 2005, INPE, p. 4217-4224. Disponível em:<<http://mart.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.17.58/doc/4217.pdf>>. Acesso em 26 de abril de 2018.

PIRES, G. P.; TAGIAFERRI, A. A. ; THAUMATURGO, C. Interferometria Óptica Para Ensaios Não Destrutivos. **Revista Matéria**. Vol. XVIII. 39 Quadrimestre de 2001. Disponível em: < <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10069/>>. Acesso em: 28 de fev. de 2018.

RADIOLOGIA EM PAUTA. **Alunos mineiros desenvolvem protótipo de aparelho portátil de RM**. 07 de agosto de 2017. Disponível em:<<http://www.radiologiaempauta.com.br/alunos-mineiros-desenvolvem-prototipo-de-aparelho-portatil-de-rm/>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

REDE NACIONAL DE MÉTODOS ALTERNATIVOS - RENAMA. **Apresentação**. Disponível em:< <http://renama.org.br/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

RIBI, Willi; SENDEN, Tim J.; SAKELLARIOU, Arthur; LIMAYE, Ajay; ZHANG, Shaowu. Imaging honey bee brain anatomy with micro-X-ray-computed tomography. **Journal of Neuroscience Methods**, 171 (2008) 93–97.

RIVERA, Ekaterina Akimovna Botovschenko. Bem-estar na experimentação animal. Parte I, Capítulo 6, p. 74-88. In: Feijó, A.G.S. , Braga, L.M.G., Pitrez, P.M.C. **Animais na pesquisa e no ensino: Aspectos éticos e técnicos**. EDIPUCRS, Porto Alegre, 2010.

RODRIGUES, Gabriela Santos; SANDERS, Aline; FEIJÓ, Ana Maria Gonçalves dos Santos. Estudo exploratório acerca da utilização de métodos alternativos em substituição aos animais não

humanos. **Rev. Bioética** (Impr.) 2011; 19(2): 577 – 96. Disponível em: <http://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica/article/viewFile/646/674>. Acesso em: 28 de maio de 2018.

RODRIGUES, Leonardo Almeida; SILVA, Francisco Assis da; Pereira, Danilo Roberto; ARTERO, Almir Olivette; PITERI, Marco Antonio. Detecção e reconhecimento de objetos em imagens utilizando algoritmos de extração de pontos chave. **Colloquium Exactarum**, v. 6, n.2, Jul-Ago. 2014, p.86 – 103. DOI: 10.5747/ce.2014.v06.n2.e078. Disponível em: <<http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ce/article/download/1092/1158>>. Acesso em: 28 de fev. de 2018.

ROSALEN, David Luciano. Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital. **Dissertação**. USP – São Carlos, São Paulo, 1997.

RUSSEL, WMS; BURCH, L. **The principles of humane experimental techniques**: special edition. Universities Federation for Animal Welfare: London, 1992.

SANTOS, Anderson Cunha dos; MENDES, Carlos Maurício Cardeal; ROSA, Fabiana Paim. A Microtomografia computadorizada aplicada à bioengenharia tecidual óssea com o uso de biomateriais. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**. Salvador, v.12, especial, p.478-481, dez de 2013.

SANTOS, Jorge R. L.; LANZIOTTI, Luiz; FRAJHOF, Leonardo. Cardiovascular. In: Santos *et al.*. **Tecnologias 3D**: Desvendando o passado, modelando o futuro. 1ª edição, Lexikon: Rio de Janeiro, 2013.

SCHAMBACH, Sebastian J.; BAG, Simona; SCHILLING, Lothar; GRODEN, Christoph; BROCKMANN, Marc A. **Application of micro-CT in small animal imaging**. 1046-2023/\$ Published by Elsevier Inc. 21 August 2009. doi:10.1016/j.ymeth.2009.08.007.

SCHMITZ, Holger; LUCAVECHE, Carmen; REEDY, Michael K.; TAYLOR, Kenneth A. Oblique Section 3-D Reconstruction of Relaxed Insect Flight Muscle Reveals the Cross-Bridge Lattice in Helical Registration. **Biophysical Journal**, Volume 67, October 1994, 1620-1633. DOI: 10.1016/S0006-3495(94)80635-6.

SHAHA, Rajib Krishna; VOGT, Jessica Ruth; HAN, Chung-Souk; DILLON, Michael E. **A micro-CT approach for determination of insect respiratory volume**. University of Wyoming, Laramie, WY 82071, USA. *Arthropod Structure & Development* 42 (2013) 437e442, 20 June 2013.

SILVA, Diogo Soares da. **Atributos de ponto de interesse e casamento de modelos para contagem de insetos-praga em cultura de soja**. UFMS, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/handle/123456789/2765>>. Acesso em: 28 de fev. de 2018.

SILVA, Tagore Trajano de Almeida. Crítica à herança mecanicista de utilização animal: em busca de métodos alternativos. **Anais do XVII Encontro Preparatório para o Congresso Nacional do CONPEDI**. Janeiro de 2008. Disponível em: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2352084> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2352084>. Acesso em: 28 de jun de 2018.

SILVA FILHO, Omar Gabriel da *et al.*. Comportamento da sutura palatina mediana em crianças submetidas à expansão rápida da maxila: avaliação mediante imagem de tomografia computadorizada. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**. Dental Press Editora, v. 12, n. 3, p. 94-103, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/15398>>.

SMITH, Dylan B. *et al.*. Exploring miniature insect brains using micro-CT scanning techniques. **Scientific Reports** | 6:21768 | DOI: 10.1038/srep21768, 24 February, 2016.

SNELGROVE, Paul. The Sum of the Census of Marine Life is Greater than its Parts: A Synthesis Strategy for CoML. **Synthesis Interim Report**, for Grant Number 2008-6-2, submitted to the Alfred P. Sloan Foundation, June 30, 2009. Disponível em:< <http://www.comlsecretariat.org/wp-content/uploads/2010/06/Interim-Report-to-Sloan-Foundation-30-June-2009.pdf>>. Acesso em: 14 de jun. de 2018.

SNELGROVE, Paul. A New Appreciation of Ocean Life. 受賞記念講演会 日本国際賞 受賞記念講演会 「生物生産, 生命環境」分野. (Tradução livre: Palestra Comemorativa do Prêmio Vencedor do Prêmio Internacional do Japão Palestra "Produção Biológica, Ambiente de Vida").. **J-STAGE**, Tendências acadêmicas, volume 18, n 8, 18 (2013) n ° 8, 2013, p 8 - 88 - 8 _ 97. DOI: https://doi.org/10.5363/tits.18.8_88.

SOLBERG, Svein; NÆSSET, Erik; HANSSEN, Kjersti Holt; CHRISTIANSEN, Erik. Mapping defoliation during a severe insect attack on Scots pine using airborne laser scanning. **Remote Sensing of Environment**. Volume 102, Issues 3–4, 15 June 2006, Pages 364-376. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.001>>.

SPENCE, J. C. H.; WEIERSTALL, U.; CHAPMAN, H. N.. X-ray lasers for structural and dynamic biology. **Rep. Prog. Phys.** Volume 75, Number 10. 102601, PP. 25, 2012. DOI:10.1088/0034-4885/75/10/102601.

TARVER, M.R.; SHADE, R.E.; TARVER, R.D.; LIANG, Y.; KRISHNAMURTHI, G.; PITTENDRIGH, B.R.; MURDOCK, L.L. Use of micro-CAT scans to understand cowpea seed resistance to *Callosobruchus maculatus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, 118: 33–39, 2006.

TETILA, Everton Castelhão; MACHADO, Bruno Brandoli; BELETE, Nicolas Alessandro de Souza; GUIMARÃES, David Augusto; PISTOLI, Hemerson. **Identification of Soybean Foliar Diseases Using Unmanned Aerial Vehicle Images**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017. Disponível em: < <http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ce/article/download/1092/1158>>. Acesso em: 28 de fev. de 2018.

THANH NIEN NEWS NEWSVIETNAM.ORG. **3D insect scanner reveals inner workings of the wasp**. Alba-Tercedor. Universidade de Granada, Espanha. 01 de julho de 2014. Disponível em:< <https://www.youtube.com/watch?v=oNAvcoDK5wI>>. Acesso em: 25 de fev. de 2018.

TIFERES, Dario; D'IPPOLITO, Giuseppe; SZEJNFELD, Jacob. Ressonância magnética dos hemangiomas hepáticos: avaliação das características morfológicas e quantitativas. **Radiol. Brás.** 2003; 36(1):1–9.

TIFFIN, Helen. Do Insects Feel Pain? **Animal Studies Journal**, 5, June 2016, pp. 80–96, p. 90. Disponível em: <<http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1213&context=asj>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

VALASEK, John. **Morphing aerospace vehicles and structures**. A John Wiley & Sons, Ltd., 1st ed. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2012.

WALLACE, Iain D.; LAWSON, Nicholas J.; HARVEY, Andrew Robert; JONES, Julian D.C.; MOORE, Andrew John. High-speed close-range photogrammetry for dynamic shape measurement. **Proc. SPIE 5580, 26th International Congress on High-Speed Photography and Photonics**, (17 March 2005); doi: 10.1117/12.567331. 26TH INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-SPEED PHOTOGRAPHY AND PHOTONICS, 2004, Alexandria, Virginia, United States. Downloaded From: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie> on 2/22/2018 Terms of Use: <https://www.spiedigitallibrary.org/terms-of-use>>. Acesso em: 27 de fev. de 2018.

WALLACE, Iain D.; LAWSON, Nicholas J.; HARVEY, Andrew Robert; JONES, Julian D.C.; MOORE, Andrew John. High-speed photogrammetry system for measuring the kinematics of insect wings. **Applied Optics**, Vol. 45, No.17, 10 June 2006._

WEBSTER, Trudi; DAWSON, Steve; STOOTEN, Elisabeth. A simple laser photogrammetry technique for measuring Hector's dolphins (*Cephalorhynchus hectori*) in the Field. **Marine Mammal Science**, 26(2): 296–308 (April 2010) 2009 by the Society for Marine Mammalogy DOI: 10.1111/j.1748-7692.2009.00326.x.

WINKLER, Hanspeter. 3D reconstruction and processing of volumetric data in cryo-electron tomography. **Journal of Structural Biology** 157 (2007) 126–137. DOI: 10.1016/j.jsb.2006.07.014.

YELIN, D.; SILBERBERG, Y. Laser scanning third-harmonic-generation microscopy in biology. **Optics Express**, 169, Vol. 5, No. 8, 11 October 1999. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19399061>>. Acesso em: 10 de jun. de 2018.

ZHANG, Xiaozheng; GAO, Yongsheng; CAELLI, Terry. Primitive-based 3D Structure Inference from a Single 2D Image for Insect Modeling. 2010, **11th Int. Conf. Control, Automation, Robotics and Vision**. Singapore, 7-10th December 2010.