DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UM DIGITALIZADOR DE ARMADILHAS ADESIVAS

Nicolas Welfer Kirinus[1], **Rafael Rieder**[1]

[1]Curso de Engenharia de Computação – Instituto de Tecnologia (ITec)
Universidade de Passo Fundo (UPF) – Passo Fundo, RS, Brasil

{183948, rieder}@upf.br

Abstract. *Aphids are insects considered pests in agriculture. The management and control of these agricultural pests are essential to guarantee the vitality of crops and better crop yields. Computer vision projects automate this process. However, these programs require high-resolution images acquired by scanners. This work presents a control system for a sticky trap digitizer that aims to automate the image acquisition process, sending the acquired images to the BIS insect monitoring platform, where they are automatically processed by the intelligent model for aphid detection and counting InsectCV. The system also has the option of saving images in cloud storage services to be used to train new detection models. A proof-of-concept version of the digitizer was designed and produced for subsequent patent application. From tests carried out, it was possible to validate that the images generated by the system have the necessary quality to be used by intelligent models. However, adjustments to the focus and lighting control at the edges of the acquired images are still required to prevent the loss of parts of the image.*

Resumo. *Afídeos são insetos considerados como pragas na agricultura. O manejo e o controle destas pragas agrícolas são indispensáveis para garantir a vitalidade das lavouras e um melhor rendimento das safras. Projetos de visão computacional visão automatizar esse processo. Porém, esses programas necessitam de imagens de alta resolução adquiridas por digitalizadores. Neste trabalho é apresentado um sistema de controle para um digitalizador de armadilhas adesivas que visa automatizar o processo de aquisição de imagens, enviando as imagens adquiridas para a plataforma de monitoramento de insetos BIS onde elas são automaticamente processadas pelo modelo inteligente de detecção e contagem de afídeos InsectCV. O sistema também possui a opção de salvar as imagens em serviços de armazenamento em nuvem para serem utilizadas no treinamento de novos modelos de detecção. Uma versão para prova de conceito do digitalizador foi projetada e produzida para posterior pedido de patente de invenção. A partir de testes realizados, foi possível validar que as imagens geradas pelo sistema possuem a qualidade necessária para serem utilizadas por modelos inteligentes. Porém, ainda são necessários ajustes no controle de foco e iluminação nas bordas das imagens adquiridas, para impedir perdas de partes da imagem.*

1. Introdução

Afídeos, também conhecidos como pulgões, são insetos diminutos considerados como pragas na agricultura [Emden & Harrington 2017]. Para monitorar sua flutuação populacional, são utilizadas armadilhas para capturar esses insetos, permitindo sua identificação e contagem, e assim gerar uma estimativa de sua população [Döring 2014]. Visando automatizar esse processo são desenvolvidos projetos de visão computacional e inteligência artificial para a contagem e a classificação automática de insetos [De Cesaro Jr. et al. 2022] [Domênico et al. 2021]. Porém, esses programas necessitam de imagens de alta resolução adquiridas por digitalizadores.

O processo de aquisição de imagens começa em campos experimentais, onde são depositadas armadilhas de insetos, que podem ser do tipo bandeja ou adesiva [Pinto-Zevallos & Vänninen 2013]. Após ficaram expostas ao meio ambiente, por um período determinado, essas armadilhas são recolhidas por equipes técnicas, que fazem a preparação e limpeza desses materiais para a posterior digitalização de imagens em digitalizadores comerciais. Após isso, as imagens de alta resolução obtidas são enviadas para soluções computacionais capazes de armazenar e processar dados históricos da flutuação populacional de insetos [Trap System 2023, Lazzaretti et al. 2016], e realizar tarefas como contar e predizer os insetos presentes nas armadilhas.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um digitalizador focado especificamente para a digitalização de armadilhas de insetos pode ser considerado um projeto relevante. É uma forma de automatizar o processo de aquisição de imagens, com o digitalizador já realizando o armazenamento de dados e a comunicação com modelos inteligentes capazes de identificar, classificar e mensurar insetos, reduzindo o número de passos relacionados ao processo de monitoramento convencional. Além disso, pode ajudar na compreensão e na capacidade de preservar e restaurar a biodiversidade, produzir safras de forma sustentável e reduzir vetores de doenças humanas e pecuárias [Rydhmer et al. 2022].

Com isso em mente, o presente trabalho propõe a implementação do sistema de controle para um digitalizador desenvolvido especificamente para a digitalização de armadilhas adesivas. O sistema tem por objetivo controlar a movimentação de um robô cartesiano por meio de motores de passo NEMA 17, realizar o controle da câmera para a acomodação das imagens, além de efetuar a comunicação com um servidor web para o envio das imagens para armazenamento.

Para tanto, este artigo está assim organizado: a Seção 2 apresenta estudos que propõem soluções similares ao proposto por este projeto; a Seção 3 detalha os materiais e métodos aplicados para a construção do protótipo e a implementação do sistema de controle; a Seção 4 mostra os resultados alcançados e compara eles com o que pode ser obtido por digitalizadores comerciais; por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Os estudos de [Elder & Wong 2014] e [Luthra et al. 2019] apresentam digitalizadores, desenvolvidos para a cópia de livros. Ambos os projetos são compostos por uma câmera fixa para a aquisição das imagens e um sistema elétrico-mecânico para realizar a mudança das páginas de forma automática.

No entanto, essas abordagens não são ideais para a digitalização de armadilhas adesivas, devido ao fato de ser necessário uma maior resolução nas imagens geradas para permitir a sua detecção por modelos inteligentes. Nesse contexto, uma proposta específica para movimentação da câmera e aquisição de imagens de alta resolução em áreas menores pode ser vantajosa, além de oferecer maior precisão na captura, revelando detalhes de insetos diminutos como afídeos.

Já [Desai et al. 2021] propõem um máquina de escrita controlada por fala, de custo reduzido, que utiliza uma estrutura de robô cartesiano para mover uma caneta de forma precisa, e assim permitir a replicação de letras cursivas. [Alsalam 2021] também propõe uma máquina de escrita similar, porém focada em escrever assinaturas. O sistema permite ao usuário assinar digitalmente por um aplicativo de celular e o robô cartesiano consegue replicar essa assinatura em um documento físico.

Essas duas últimas abordagens citadas mostram que estruturas de robô cartesiano conseguem gerar movimentações precisas em espaços reduzidos, e podem ser reproduzidas com investimento moderado, de bom custo-benefício. No contexto de aquisição de imagens de insetos de tamanho minúsculo, pode-se usar o mesmo conceito, trocando a caneta da máquina de escrita por um módulo de câmera de alta resolução.

Nesse sentido, a proposta deste estudo é implementar a abordagem de robô cartesiano com um módulo de câmera de alta resolução acoplado para captura de imagens de insetos presos em armadilhas adesivas. Além deste diferencial, destaca-se a integração da proposta com programas de visão computacional que realizam a contagem e a classificação de afídeos nas imagens. Para tanto, os resultados do digitalizador são enviados à plataforma de monitoramento TrapSystem [Lazzaretti et al. 2016], onde o usuário tem a opção de usar essas imagens para simulações e tomada de decisão considerando diferentes modelos inteligentes [De Cesaro Jr. et al. 2022].

3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento desse estudo considerou diferentes materiais e métodos para concepção de um sistema de digitalização. As próximas seções detalham a respeito.

3.1. Componentes envolvidos

Primeiramente, foram selecionados e testados os componentes eletrônicos do sistema proposto, que incluem: um Raspberry Pi 4, dois motores de passo NEMA17, dois botões de fim de curso, duas ventoinhas, um módulo de câmera Pi Camera 3, um anel de LED, um teclado numérico, um display LCD e duas fontes chaveadas (uma de 5V e outra de 12V).

Como base do sistema, decidiu-se pelo uso do Raspberry Pi 4 por ele apresentar uma maior capacidade computacional quando comparado a outros dispositivos embarcados, como Arduino e ESP32. Outras funcionalidades vistas como vantajosas são a habilidade de realizar comunicação Ethernet sem a necessidade de componentes adicionais, e a possibilidade de codificar as rotinas de controle na linguagem Python, facilitando a utilização de bibliotecas para manipulação de imagens como a OpenCV[1].

A escolha dos motores de passo Nema 17 foi motivada por eles apresentarem maior torque e precisão na movimentação do que modelos como o motor de passo 28byj-

[1]Disponível em `https://www.opencv.org`.

48 (inicialmente considerado, mas incapaz de realizar a movimentação desejada). Já a Pi camera 3 foi utilizada devido a apresentar uma resolução de 12 MP que se mostrou adequada para o detalhamento dos insetos diminutos que seriam digitalizados, além de possuir uma função que impede que as imagens fiquem desfocadas devido a ondulações na armadilha adesiva.

Os botões de fim de curso foram empregados para configurar a posição inicial dos motores, já que o sistema não possui componentes para fazer a leitura da posição da câmera. As ventoinhas foram utilizadas para fazer o resfriamento da instalação elétrica, que fica dentro de um espaço fechado. O anel de LED foi aplicado para equalizar a iluminação das imagens durante o processo de coleta. Já o teclado numérico e o display LCD foram utilizados para fazer a comunicação do usuário com o sistema.

As duas fontes chaveadas foram utilizadas para realizar a alimentação do sistema, com ambas as fontes sendo ligadas em uma tensão de 220V. A fonte de 12V foi utilizada para energizar os dois motores de passo e as duas ventoinhas, com todos os outros componentes sendo alimentados pela fonte de 5V. A escolha da fonte chaveada foi motivada por gerar menos calor e consumir menos energia do que uma fonte linear, além de ser fisicamente menor.

3.2. Proposta de funcionamento

A Figura 1 apresenta a estrutura de funcionamento do sistema de controle proposto para digitalizar armadilhas adesivas.

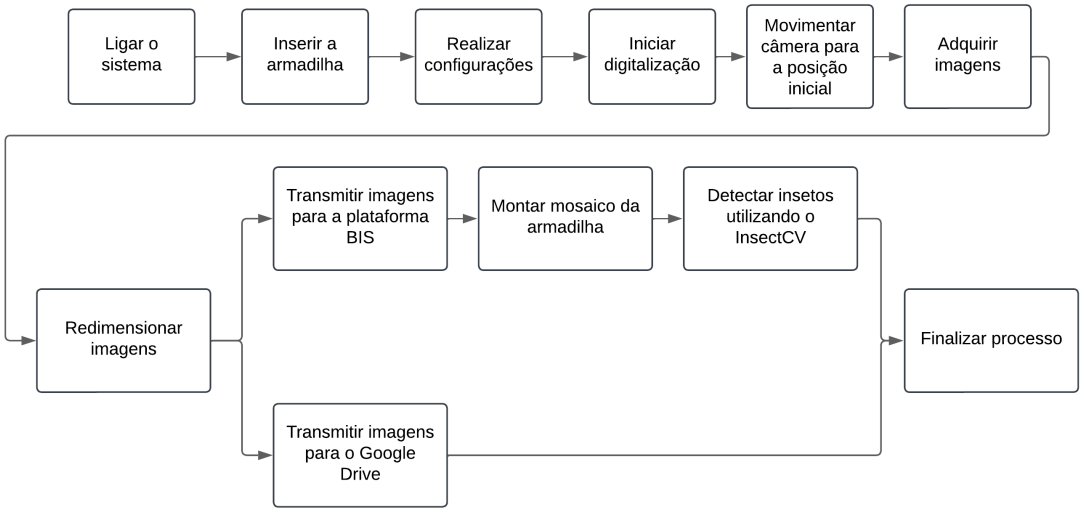

Figura 1. Estrutura de funcionamento do sistema.

A proposta do sistema considera um método de digitalização, onde o usuário pode iniciar o processo de captura de imagens de armadilhas adesivas a partir da interação com o teclado numérico e o display LCD. Ele pode escolher opções para realizar testes nos componentes do sistema, bem como configura a data do envio dos dados.

Após realizadas as configurações, o usuário pode dar início ao procedimento, podendo escolher o modo “scanner” para enviar as imagens adquiridas para a plataforma

BIS - *Brazilian Insect Survey*[2], que registra a submissão e realiza a inferência ao modelo de detecção de afídeos InsectCV [De Cesaro Jr. et al. 2022]; ou o modo "treinamento" para enviar as imagens adquiridas a um espaço colaborativo de armazenamento do Google Drive, destinado a ampliação do banco de imagens utilizadas para atualização e treinamento de modelos inteligentes.

Uma vez selecionado o modo de detecção, o sistema começa a aquisição das imagens, primeiramente movendo a câmera para uma determinada posição inicial, onde o anel de LED é ligado e a foto do primeiro quadrante de uma armadilha de 10 linhas e quatro colunas é capturada. A partir deste ponto, o sistema começa a mover a câmera sobre a armadilha, tirando uma foto em cada novo quadrante, até completar a digitalização de toda a armadilha (40 imagens). Quando todos os quadrantes forem digitalizados, o anel de LED é desligado, e a solução executa uma função de recorte de imagens, reduzindo-as para imagens de 1720X1720 pixels. Esse procedimento é necessário para eliminar áreas de quadrantes vizinhos capturados no processo (bordas), que também geralmente estão desfocadas, e já fazem parte de imagens anteriormente ou posteriormente capturadas. Desta forma, mantém-se apenas o objeto de interesse (quadrante) em cada imagem, com foco no centro.

Finalizado esta tarefa local, inicia-se a transmissão das imagens para a plataforma BIS (modo "scanner") ou para o Google Drive (modo "treinamento"). No caso da BIS, um mosaico com as imagens adquiridas é processado e gerado na nuvem, a partir de uma imagem vazia de 6800x17200 pixels, mantendo a mesma disposição de 10x4 da armadilha completa. Após isso, inicia-se o processo de detecção de afídeos sobre esse mosaico, usando o modelo InsectCV. Já no Google Drive, uma pasta é criada para cada submissão, simplesmente salvando as imagens dos quadrantes capturados, sem nenhum processo de processamento de imagens ou inferência.

3.3. Montagem do protótipo

Durante a fase de montagem do projeto, decidiu-se habilitar, nas configurações da câmera, o autofoco no modo macro. O objetivo foi melhorar a qualidade de imagem e garantir que as fotos da câmera ficassem mais nítidas e claras, em virtude dos objetos de interesse serem diminutos. Também optou-se pela configuração de balanço de branco para ambientes internos para impedir que a luz do anel de LED causasse alterações na temperatura de cor da imagem.

Em relação a movimentação dos motores de passo, foi decidido utilizar um quarto de passo para qualquer deslocamento. A partir de testes de bancada, verificou-se que tamanhos de passos maiores acabavam causando fortes vibrações na estrutura da abordagem, o que poderia causar erros na movimentação e trepidações indesejadas na captura de imagens. Tamanhos de passo menores e uma movimentação com pausas e não constante apresentaram mais estabilidade.

Após a realização dos testes foi organizada a disposição dos componentes na estrutura prevista do sistema, bem como a distribuição de energia para otimizar o arranjo dos cabos, minimizando possíveis interferências nos dados. Diversas configurações foram testadas em bancada previamente.

[2]BIS é a nova plataforma de nuvem da Embrapa, destinada ao monitoramento de insetos, substituindo a TrapSystem. Ela pode ser acessada em `https://www.bis.cnptia.embrapa.br`.

A configuração final, apresentada pela Figura 2, foi escolhida por centralizar os cabos de energia e dados em uma canaleta principal enquanto ainda mantêm todas as saídas de dados na borda direita e a entrada de energia na borda esquerda, minimizando a ocorrência de cabos aéreos. Após essa organização, realizou-se novos testes de bancada para validar a montagem elétrica, considerando rotinas para manter todos os componentes em execução, como forma de assegurar o funcionamento correto de todos os dispositivos quando alimentados pelas fontes do projeto, mesmo em casos de maior atividade.

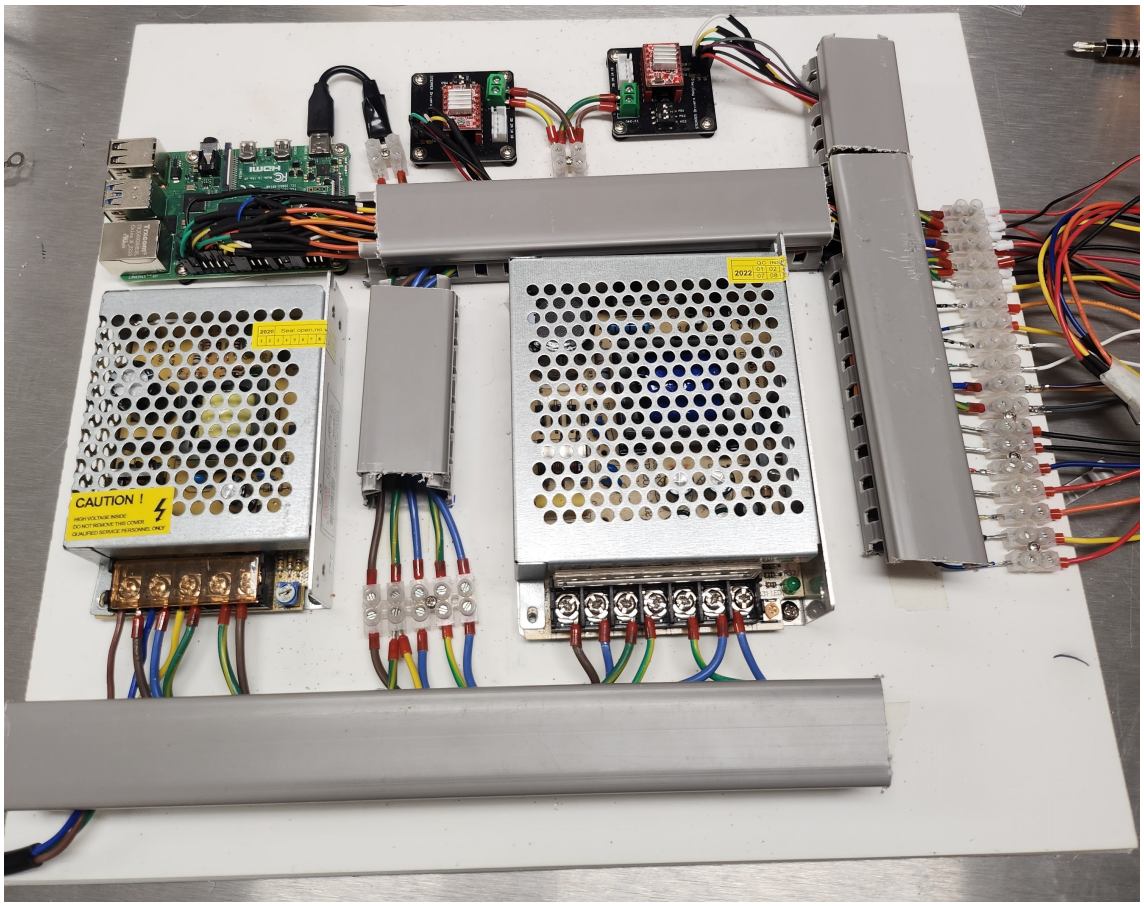

Figura 2. Montagem da parte elétrica.

Em relação à estrutura mecânica do projeto, a mesma foi composta por uma caixa feita de MDF para abrigar os componentes eletrônicos. Uma câmara fechada foi projetada com compartimentos para inserir armadilhas adesivas modelo ColorTrap Isca 30x10 (Figura 3). Para este estudo, considerou-se somente o suporte para a digitalização de uma armadilha por vez. Porém, a câmara já possui espaço para futuramente permitir digitalizar duas armadilhas simultaneamente.

Integrado a essa câmara, acoplou-se o sistema de robô cartesiano, responsável por mover a câmera nos eixos X e Y, posicionado a uma distância de 2 a 5 cm, com a distância podendo ser configurada manualmente. Essa estrutura possibilitou a navegação sob as armadilhas para captura precisa de imagens, em alta resolução. A alimentação elétrica e a entrada Ethernet do sistema estão localizadas na parte traseira da caixa. A comunicação com o usuário é realizada pelo display LCD e teclado, posicionados na parte superior da estrutura. A estrutura completa do protótipo pode ser vista na Figura 4.

Figura 3. Modelo de armadilha usado para digitalização.

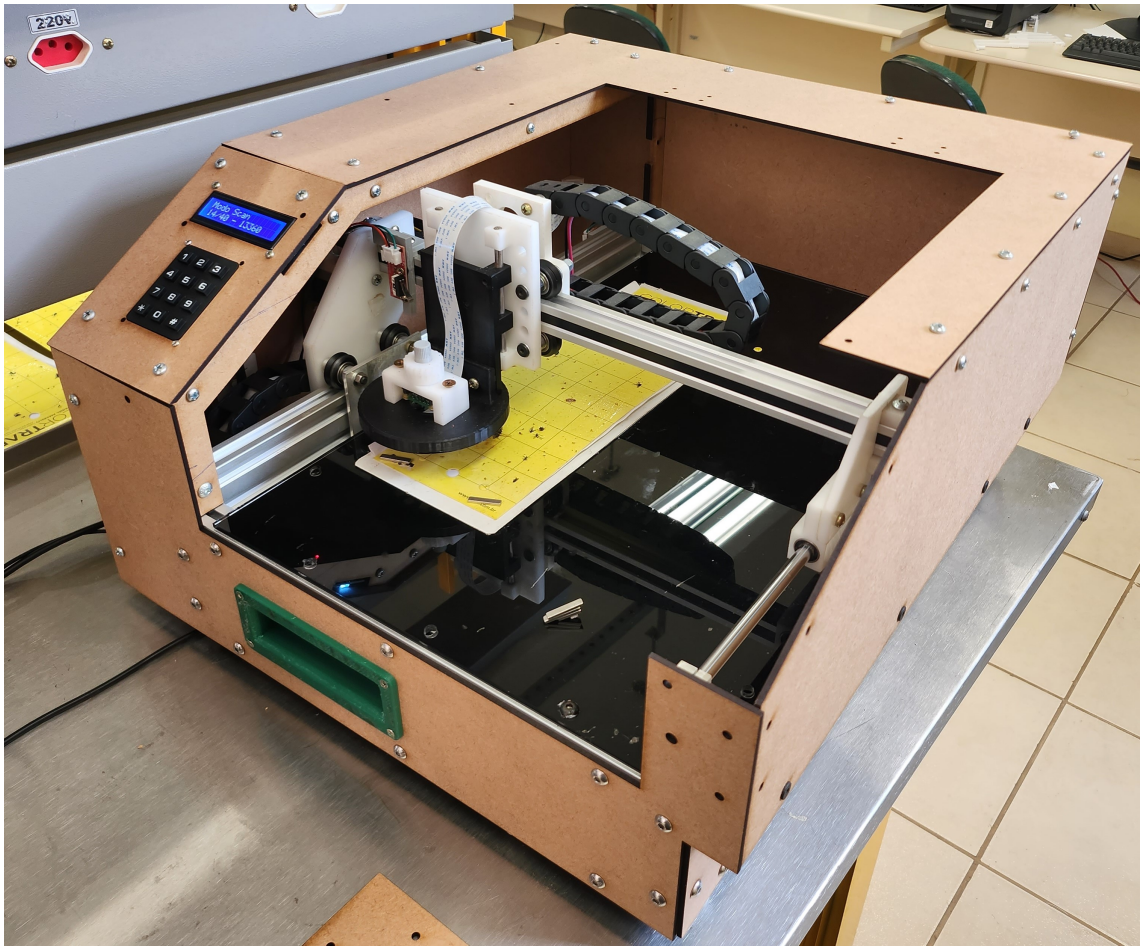

Figura 4. Estrutura completa do sistema de digitalização proposto.

3.4. Rotinas de controle

Após a montagem e a verificação de funcionamento das partes elétrica e mecânica, a construção física do protótipo final foi concluída. Em seguida, deu-se início ao desenvolvimento das rotinas de controle do digitalizador. Instruções de movimentação dos motores foram implementadas para mover a câmera para a posição superior à esquerda, onde estão posicionados os botões de fim de curso, para realizar o encontro da posição inicial. As instruções seguintes foram implementadas para deslocar a câmera sobre a armadilha, com posições de parada pré-definidas para a aquisição de 40 imagens.

Durante testes de bancada para validar essas instruções de software, percebeu-se que algumas imagens capturadas apresentavam uma coloração rosada (Figura 5). A partir da observação de fóruns sobre a Raspberry Pi [3], descobriu-se que esse problema está relacionado ao cabo CSI do módulo de câmera Pi Camera 3. Em virtude do tamanho do cabo ser de dois metros, seria necessário adicionar blindagem à ele, oferecendo isolamento eletromagnético ideal para eliminar essas interferências.

Figura 5. Exemplo de captura de imagem que sofreu interferência.

Como esse problema ocorria ocasionalmente, optou-se em implementar uma solução em software, com recursos da biblioteca OpenCV, para detectar esses erros, sem diminuição significativa de desempenho. Nesse sentido, a inclusão de uma máscara que analisava a imagem recebida e procura por valores de RGB onde o verde é próximo de zero e os valores de vermelho e azul são próximos de 255, se esses valores são encontrados a rotina solicitava nova captura da imagem da posição atual da câmera sob a armadilha.

Também foi implementado um sistema de menu através do teclado numérico, para permitir as ações de início do processo de digitalização e mudança de configurações do sistema, como a data do envio de imagens e a calibração e testes de componentes eletrônicos do sistema.

Outras funcionalidades implementadas foram os eventos para o envio das imagens para a plataforma BIS e para o Google Drive. Inicialmente, confere-se se as capturas dos quadrantes estão organizadas para submissão. Em seguida, utiliza-se uma função da API da BIS para iniciar o processo de mosaicagem, informando o tamanho da imagem a ser

[3] `https://forums.raspberrypi.com`

criada, além da primeira captura de quadrante para o novo mosaico. Após a BIS criar no servidor essa imagem inicial, ele retorna um identificador para ser usada nas próximas requisições, com as outras imagens sendo enviadas separadamente e sendo inseridas no mosaico. Já o envio ao Google Drive é feito com recursos da biblioteca pydrive. Como tarefas, faz-se a autenticação na conta, cria-se a pasta onde o material ficará armazenado, e procede-se com o envio das imagens capturadas da armadilha, uma de cada vez.

4. Resultados e Discussão

Um protótipo funcional para prova de conceito foi desenvolvido, realizando todas as funcionalidades propostas. Como exemplo a Figura 6 mostra um mosaico gerada a partir da digitalização de uma armadilha. Além disso, permitiu-se ao usuário realizar os seguintes testes nos componentes do sistema:

- Teste da câmera, que inicia o dispositivo, executa o programa de autofoco e tira uma foto que não é salva;
- Teste do led, que liga o componente por dois segundos e depois o desliga;
- Teste da API, que manda uma requisição para a BIS para verificar se o sistema está conectado à internet, e se o servidor está operacional;
- Teste dos fim de curso, que mostra no display quando os mesmos estão sendo pressionados;
- Teste dos motores, que permite ao usuário mover os motores livremente.

Além das funções citadas, também foram implementadas as opções de alterar a data do sistema e a data da armadilha enviada, e alterar o campo experimental que a armadilha pertence quando enviada à plataforma BIS. Ademais, foram desenvolvidas as funcionalidades de movimentar a câmera para a posição inicial (visando facilitar troca da armadilha a ser digitalizada), e a opção de mostrar o número do IP do sistema (para permitir o acesso remoto dos arquivos através do protocolo SSH).

A partir disso, foi possível realizar testes sobre a eficiência do digitalizador. Inicialmente, mediu-se o tempo total médio de operação do sistema, considerando o tempo para digitalização da armadilha, o tempo de envio das imagens, e o tempo para detecção dos objetos de interesse pelo modelo InsectCV (para o caso da plataforma BIS).

Para avaliar o tempo total médio, considerou-se 12 imagens de armadilhas para digitalização, sendo quatro delas contendo poucos insetos (amostra esparsa), quatro contendo um número intermediário de insetos (amostra média), e quatro contendo uma grande quantidade de insetos presos à armadilha (amostra densa). Os resultados de comunicação com a Plataforma BIS podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Tempo total médio de operação, com submissão à plataforma BIS (em minutos e segundos), considerando 12 amostras (quatro por grupo).

Amostra esparsa	Amostra média	Amostra densa
4:15	4:05	4:08
Média Total		
4:09		

O mesmo tempo foi repetido, com as mesmas armadilhas, para o processo de envio ao Google Drive. Os resultados de comunicação podem ser vistos na Tabela 2.

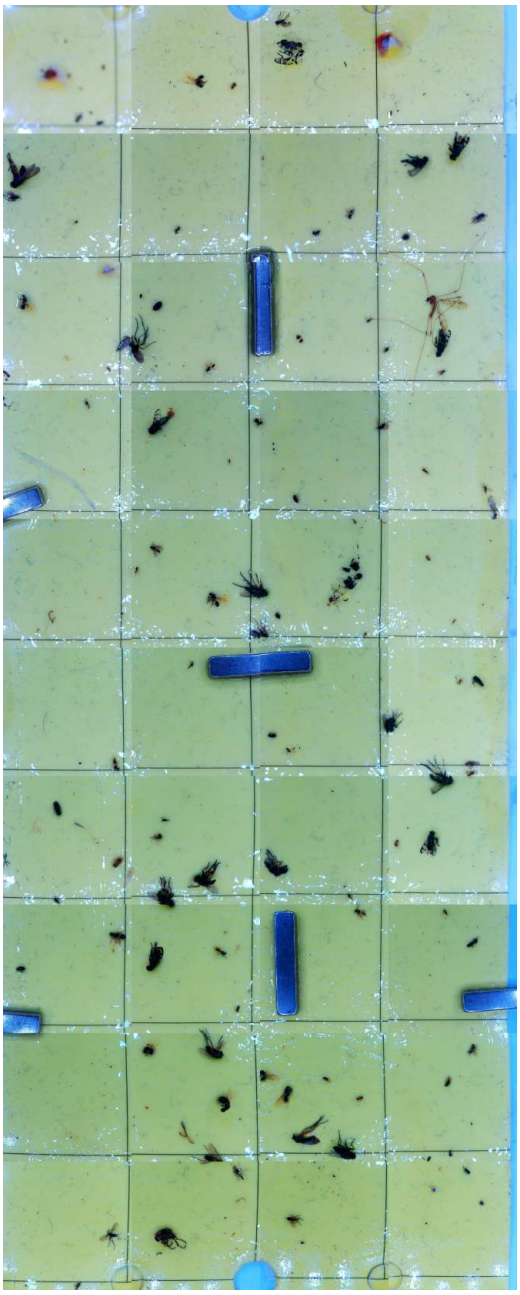

Figura 6. Mosaico produzido pelo sistema após um processo de digitação.

.

Tabela 2. Tempo total médio de operação, com submissão ao Google Drive (em minutos e segundos), considerando 12 amostras (quatro por grupo).

Amostra esparsa	Amostra média	Amostra densa
7:06	7:01	7:02
Média Total		
7:03		

Como pode ser visto, o tempo médio para a digitalização e envio das imagens para a BIS é de cerca de quatro minutos, enquanto o processo realizado para o envio das imagens para o Drive é de cerca de sete minutos. Vale lembrar que, aproximadamente, três minutos é o tempo necessário para fazer a aquisição e o redimensionamento de imagens de uma armadilha 10x4 quadrantes. A transmissão entre plataformas e a inferência consome o restante do tempo.

Sobre a diferença de tempo entre os dois modos de transmissão, é possível notar a transmissão para o Google Drive consome muito mais tempo devido ao processo de autenticação da plataforma ser mais rigoroso. No caso, como 40 imagens estão sendo enviadas individualmente, a autenticação é realizada para cada arquivo submetido. Por outro lado, um fator que pode ter contribuído para a rapidez da transmissão para a plataforma BIS é o fato da API dela estar sendo executada na mesma rede local onde os testes foram realizados, diminuindo assim o tempo de roteamento.

Ainda em relação ao tempo médio, pode-se observar que a quantidade de insetos nas armadilhas não apresentou mudanças significativas no tempo quando realizada o processo de inferência ao modelo inteligente. Por outro lado, notou-se que a pequena variância dos tempos entre grupos é resultado da necessidade de realizar novamente a aquisição de determinada imagem, devido a detecção de interferência eletromagnética na câmera. Nos testes realizados, ela ocorreu, em média, duas vezes em cada processo de digitalização. Em todos os casos, a imagem do quadrante foi novamente capturada com sucesso.

Após realizados os testes de tempo, considerou-se também um teste de qualidade da imagem adquirida pelo digitalizador. Para tanto, fez-se a digitalização de 20 armadilhas, que foram manualmente contadas, para comparar os resultados desta contagem com os realizados pelo modelo InsectCV, a partir dos mosaicos gerados. A Figura 7 mostra um gráfico comparativo, de forma temporal, e a Figura 8 mostra um gráfico de dispersão entre os processos manual e automático.

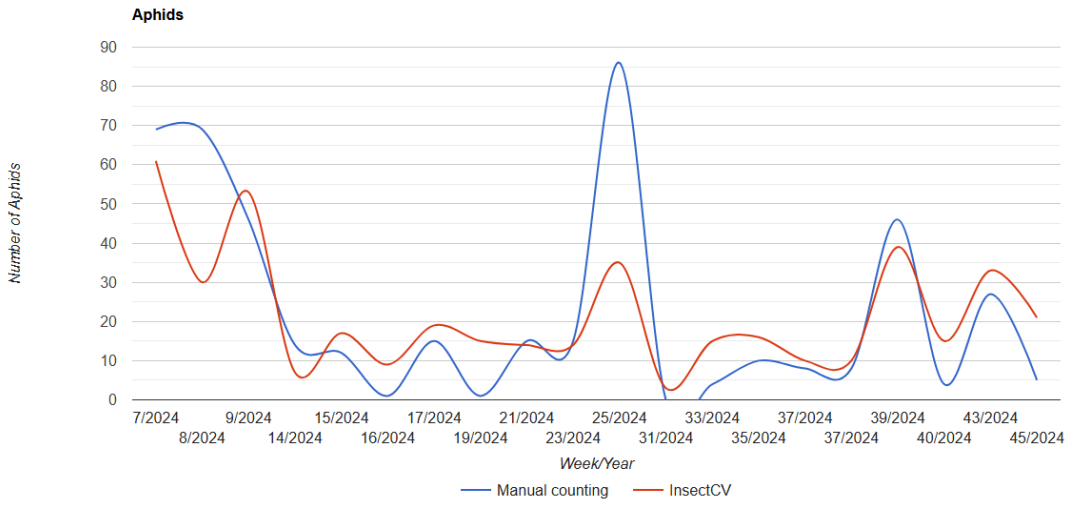

Figura 7. Gráfico comparativo entre processos manual e automático, de forma temporal.

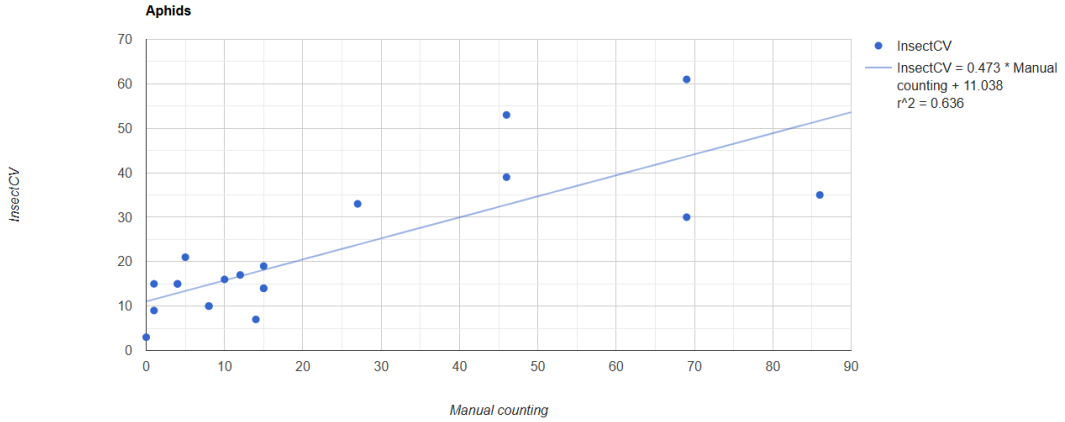

Figura 8. Gráfico de dispersão entre os processos manual e automático.

A partir dos gráficos, percebe-se que foi possível detectar os insetos através das imagens geradas pelo digitalizador, porém com uma qualidade relativamente regular de ajuste do modelo ($R^2 = 0.636$). Pode-se destacar que um dos motivos dessa precisão inferior é que o InsectCV foi treinado com imagens de armadilhas amarelas do tipo Moericke (bandejas com água). Para resultados mais significativos, é recomendável gerar um novo modelo ou retreinar o atual modelo para que este ofereça suporte mais assertivo à detecção em armadilhas adesivas.

Com esse teste também foi possível validar a funcionalidade do protótipo, observando que ainda são necessários ajustes finos para melhorar a qualidade da digitalização. Na versão proposta, alguns quadrantes da imagem ainda apresenta uma leve falta de foco, mesmo utilizando a função de auto foco da Pi Camera 3, como mostra a Figura 9. Nesse sentido, pode-se resolver o problema por meio de mudanças na configuração do autofoco, na espera de alguns milissegundos após a parada do motor para próxima aquisição de imagem, ou na implementação de uma rotina para realizar um teste de foco nas imagens adquiridas para realizar novamente a aquisição, em caso de desfoque [Koik & Ibrahim 2013].

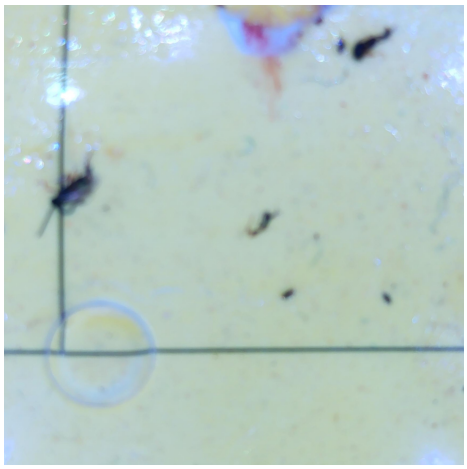

Figura 9. Exemplo de captura de imagem que ficou desfocada.

Outro problema notado foi a perda de parte da digitalização da armadilha nas bordas das imagens adquiridas, em virtude do redimensionamento ser de um tamanho fixo. Isso faz com que o movimento da câmera durante o auto foco mude levemente a distância entre a câmera e a armadilha, fazendo com que o mosaico final fique com pequenas distorções.

Esse problema é ainda exacerbado devido a algumas armadilhas apresentarem inclinações devido a ficarem expostas em campo. E, mesmo com o protótipo atual apresentando possua um sistema de ímãs para prender a armadilha na mesa de digitalização, as inclinações ainda causam problemas para a geração de um mosaico sem perdas.

Para reduzir essas imperfeições, pode-se introduzir um método de redimensionamento dinâmico, fazendo a detecção das linhas da armadilha para recortar apenas o quadrante central da imagem adquirida [Zeng et al. 2019]. Outra possível solução é modificar o sistema de montagem de mosaico para receber a imagem inteira sem redimensionamento e realizar a concatenação mesclando as áreas repetidas das imagens [Hasegawa & Junior 2004].

Outra limitação detectada tem relação com a iluminação artificial. O anel de LED atual tem uma circunferência pequena, que acaba incidindo luz excessiva na borda das imagens capturadas. A troca por um anel de maior circunferência pode ajudar nisso, fazendo com que a iluminação fique melhor distribuída no quadrante de interesse, e os pontos de intensidade maior de luz fiquem em áreas que serão descartadas no processo de redimensionamento.

Contudo, o sistema desenvolvido consegue automatizar a etapa de aquisição de imagens de armadilhas para a utilização com modelos inteligentes. Uma das vantagens é o envio das imagens para a plataforma BIS e o processo de detecção acionado automaticamente - o que torna o processo de monitoramento mais rápido. As imagens são adquiridas pelo sistema com resolução adequada para a detecção, mesmo com o uso de uma câmera compacta.

A possibilidade de envio das imagens para armazenamento em serviços de armazenamento em nuvem também permitiu facilitar o processo de aquisição de novas imagens para o treinamento de novos modelos inteligentes. É uma forma de aumentar as bases de dados e obter imagens dos objetos de interesse oriundos de diferentes colaboradores da plataforma BIS.

O projeto também se mostra inovador devido ao fato que sistemas similares para aquisição de imagens serem focados em aquisição de imagens de campo, com a digitalização de armadilhas de laboratório sendo realizadas majoritariamente por meio de dispositivos genéricos.

Por fim, este projeto faz parte de um pedido de patente de invenção de uma solução completa de monitoramento de insetos, com busca de anterioridade, redação e documentação prontos para serem encaminhados ao Instituto Brasileiro de Propriedade Industrial (INPI) para análise.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de controle para um digitalizador de armadilhas adesivas. Com a produção de um protótipo para prova de conceito, foi

possível validar a estrutura proposta por meio de testes de componentes, funcionalidades do sistema e qualidade do processo de aquisição de imagens.

O protótipo se mostrou eficaz para automatizar o processo de aquisição de imagens, integrado à plataforma BIS. Esse característica torna o processo de contagem mais rápido ao permitir aos usuários realizar a detecção da armadilha automaticamente durante sua digitalização - o que não é possível nos digitalizadores genéricos, normalmente utilizados nesse processo. Além disso, contribui para manter o registro histórico de coletas.

Além da contagem de objetos de interesse ser mais rápida, o sistema também facilita a criação de repositórios de imagens para o treinamento de novos modelos inteligentes, já salvando as imagens adquiridas em serviços de armazenamento em nuvem. Apesar de ser desenvolvido para digitalização de armadilhas em laboratório, o sistema pode futuramente ser utilizado como base para o desenvolvimento de uma armadilha inteligente, automatizando a coleta de imagens no campo.

Porém, mesmo com as imagens adquiridas atualmente já possuírem o nível de qualidade necessário para serem utilizadas em modelos de detecção, elas ainda apresentam erros como a falta de foco e a perda de partes da armadilha durante a digitalização. Outro ponto importante a destacar é que o modelo InsectCV, utilizado para testes, ainda carece de retreinamento com esse novo padrão de imagens, para melhorar sua acurácia na categorização dos insetos. Outra limitação é o fato de atualmente a digitalização estar configurada para apenas um tipo de armadilha, de tamanho 10x4.

Trabalhos futuros incluem melhoras nas rotinas de controle de foco da câmera para impedir que certas fotos fiquem desfocadas, mudanças nos processos de redimensionamento da imagem e da criação de mosaicos para impedir a perda de partes da armadilhas digitalizadas e na possibilidade de realizar a digitalização de outros modelos de armadilhas. O projeto mecânico do sistema ainda não está concluído, com o fechamento da estrutura externa ainda sendo produzido, além de futuramente ser planejado realizar a troca das peças de MDF por peças de acrílico.

6. Agradecimentos

Este trabalho faz parte do escopo dos projetos “Desenvolvimento e validação de ferramentas para monitoramento e tomada de decisão de manejo de epidemias causadas por vírus transmitidos por insetos”, Chamada Universal CNPq/MCTI/FNDCT No. 18/2021 - Faixa A Grupos Emergentes, coordenador pelo pesquisador Douglas Lau; e “Soluções de Visão Computacional para manejo de epidemias causadas por vírus transmitidos por insetos”, Chamada CNPq No 08/2022. Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro e de cota de iniciação científica, e pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT ao pesquisador Rafael Rieder, processo No. 302773/2022-3.

Agradecimentos também ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense - Campus Passo Fundo (IFSul Passo Fundo), em especial ao Grupo de Pesquisa em Computação Aplicada (GPCA) que realizaram a estrutura mecânica do projeto, e auxiliaram no desenvolvimento do sistema de controle. Em especial, agradecer aos professores que orientaram o desenvolvimento do projeto: Telmo de Cesaro Júnior, Cláudio André Lopes de Oliveira e Alexsander Furtado. E também aos bolsistas de pesquisa que participaram do desenvolvimento desta e de outras etapas da solução completa:

Arthur Mariano da Silva, Alisson Mello da Rosa, Lúcio André Copetti, Bibiana Freitas Zanin e José Eduardo Vaccari Bresciani.

Esses projetos também fazem parte de Acordo de Cooperação Técnica (Embrapa Código SAIC: 21100.23/0023-0) entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Unidade Passo Fundo (Embrapa Trigo), o IFSul Passo Fundo e a Universidade de Passo Fundo (UPF), que tem por objeto integrar esforços entre as partes para a execução de atividades conjuntas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para atender os objetivos dos projetos supracitados.

Referências

Alsalam, B. H. Y. (2021). Low-cost 3d-printed smart robotic system for distance signature and authentication. *Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems*, 3(3):e78. DOI: https://doi.org/10.1002/adc2.78.

De Cesaro Jr., T., Rieder, R., Di Domênico, J. R., & Lau, D. (2022). InsectCV: A system for insect detection in the lab from trap images. *Ecological Informatics*, 67:101516. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101516.

Desai, Y., Rungta, Y., Reshamwala, P., & Joshi, K. (2021). Speech enabled handwriting machine using cnc. In *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, pages 1453–1457. IEEE. DOI: https://doi.org/10.1109/ICICCS51141.2021.9432107.

Domênico, J. D., Lau, D., Ribeiro, D., Rieder, R., & Júnior, T. C. (2021). Um estudo comparativo de redes convolucionais profundas para detecção de insetos em imagens. In *Anais Estendidos da XXXIV Conference on Graphics, Patterns and Images*, pages 183–188, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. DOI: https://doi.org/10.5753/sibgrapi.est.2021.20036.

Döring, T. F. (2014). How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*, 165(1):3–26. DOI: https://doi.org/10.1111/aab.12142.

Elder, T. S. & Wong, C. M. (2014). Robotic book scanner. *Digital Commons*. Disponível em https://digitalcommons.calpoly.edu/cpesp/123.

Emden, H. v. & Harrington, R. (2017). *Aphids as crop pests*, volume 2. Cabi, Boston, USA. ISBN: 978-1-78064-709-8.

Hasegawa, J. K. & Junior, E. A. (2004). Mosaico com imagens digitais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 10(1):31–50. Disponível em https://revistas.ufpr.br/bcg/article/download/1458/1212.

Koik, B. T. & Ibrahim, H. (2013). A literature survey on blur detection algorithms for digital imaging. In *2013 1st International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation*, pages 272–277. IEEE. DOI: https://doi.org/10.1109/AIMS.2013.50.

Lazzaretti, A. T., Lau, D., Fernandes, J. M. C., Wiest, R., Bavaresco, J. L. B., & Schaefer, F. (2016). Trap System - uma aplicação para gerenciamento de dados coletados a partir de armadilhas de insetos. In *Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale*. Disponível em https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158724/1/ID43959-2016RCBPTT10DOUGLAS36.pdf.

Luthra, P., Chauhan, P., & Ahmad Ansari, I. (2019). Low cost automatic document scan machine using raspberry pi and tesseract ocr. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Electronics, Electrical & Computational Intelligence (ICAEEC)*. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.3575389.

Pinto-Zevallos, D. M. & Vänninen, I. (2013). Yellow sticky traps for decision-making in whitefly management: What has been achieved? *Crop protection*, 47:74–84. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.01.009.

Rydhmer, K., Bick, E., Still, L., Strand, A., Luciano, R., Helmreich, S., Beck, B. D., Grønne, C., Malmros, L., Poulsen, K., et al. (2022). Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. *Scientific reports*, 12(1):2603. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-06439-6.

Trap System (2023). Trap System: plataforma integrada para monitoramento, simulação e tomada de decisão no manejo de epidemias causadas por vírus transmitidos por insetos. Disponível em: http://gpca.passofundo.ifsul.edu.br/traps/. Acesso em: 08 de Abr. de 2024.

Zeng, H., Li, L., Cao, Z., & Zhang, L. (2019). Reliable and efficient image cropping: A grid anchor based approach. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. DOI: https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/CVPR.2019.00610.