

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Monitoramento espaço-temporal da maturação do café utilizando metodologia de baixo custo
baseada em imagem

Felipe Augusto de Oliveira

JABOTICABAL – SP
2º SEMESTRE/2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Monitoramento espaço-temporal da maturação do café utilizando metodologia de baixo custo
baseada em imagem

Felipe Augusto de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: M. Sc. Vinícius dos Santos Carreira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias -
UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA.

JABOTICABAL – SP

2º SEMESTRE/2023

FICHA CATALOGRÁFICA

O48m Oliveira, Felipe Augusto de
Monitoramento espaço-temporal da maturação do café utilizando
metodologia de baixo custo baseada em imagem / Felipe Augusto de Oliveira.
-- , 2023
28 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (-) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Coorientador: Vinícius dos Santos Carreira

1. Redes neurais. 2. Cientistas agrícolas. 3. café. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências
Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO:

Engenharia e ciências exatas

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Monitoramento espaço-temporal da maturação do café utilizando metodologia de baixo custo baseado em imagem

ACADÊMICO: Felipe Augusto de Oliveira

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Rouverson Pereira da Silva

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)
Presidente	Rouverson Pereira da Silva
Membro	Renata Amaral da Silva
Membro	Thiago Caio Moura Oliveira

(Assinaturas)

Jaboticabal 11 / 07 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 12 / 07 / 2023

Chefe do Departamento
Prof. Dr. Danisio Prado Munari
Chefe do Depto. de Engenharia
e Ciências Exatas

aprovado "ad
referendum" do
Conselho do Depto.

“Segue os teus sonhos, trabalhe muito que as oportunidades vão surgir.”

(Cristiano Ronaldo dos Santos Aveiro)

A minha família dedico esse trabalho em especial aos meus pais Anilton de Oliveira e Vanessa de Oliveira, que sempre me apoiaram em momentos bons ou ruins, em dias tristes ou alegres, sem eles não estaria onde estou hoje, a Deus e Santa Rita de Cássia por sempre me darem forças, sabedoria e bençãos durante essa trajetória e em novas etapas que estão por vir.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Santa Rita de Cássia por me darem forças e derramarem bênçãos, guiando meus caminhos para que essa trajetória pudesse ser concluída com êxito. A minha família, em especial meus pais Anilton de Oliveira e Vanessa de S.S. Oliveira que sempre ficaram ao meu lado apoiando e mostrando o melhor caminho até aqui, com incentivos e broncas para que o objetivo fosse concluído, sem eles, com certeza, não estaria onde estou hoje. Ao meu irmão, Lucas Fernando de Oliveira, pela companhia em momentos de solidão durante a pandemia, aos meus avôs por sempre rezarem para que eu tenha uma vida abençoada, com muitas graças, à minha namorada, Lígia La Luna, que me apoiou nos últimos tempos de graduação.

Agradeço aos profissionais da educação que me ajudaram, de alguma forma, a chegar onde estou hoje, principalmente ao meu orientador Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, que de todas as maneiras possíveis me apoiou até aqui, com viagens a congressos e até mesmo a campo ajudando-me a conduzir o experimento, com certeza uma bela amizade a qual pretendo levar para o resto de minha vida; ao coorientador Vinicius dos Santos Carreira deixo meu eterno agradecimento, pois sem ele também não haveria esse trabalho finalizado até tal data.

Ao grupo LAMMA por me ajudar na pesquisa com o trabalho pesado e cansativo, sempre se mantiveram presentes e de alguma maneira acrescentaram algo a minha vida pessoal e profissional.

A República Xicreti, minha segunda família, que sempre acompanhou minha trajetória, apoiando nos estudos e na vida social, aos irmãos de outras mães, João Pedro Branco (Abanu), João Pedro de Sá (Da-Citi), Pedro Buzinaro (Tukão), Vitor Bardella (Frajelu), Lucas Agostini, Rafael Lopes (Zé-Coméia), Thiago Cascino (Pipolvamp), Antony Arruda (Bandoleru) e Hilario de lá cruz (o estagiário maluco) e, principalmente a nossa governanta, Isabel, que sempre me aturou e cuidou de todos nesses 5 anos.

Muito obrigado por todos os momentos e por terem me aceitado na família, proporcionando flashes e histórias que levarei por toda minha vida (vida longa a Xicreti).

A todos os amigos que fiz durante minha graduação e amizades que fiz durante a vida, que de alguma forma se fizeram presentes em algum momento.

A UNESP/FCAV, câmpus de Jaboticabal que me proporcionou momentos incríveis de aprendizado e experiências novas que nunca havia presenciado ou sonhado em viver, conhecendo grandes profissionais da área de engenharia agrônômica e amigos que sempre caminharam comigo.

Agradeço ao proprietário, seu Aguimar que além de amigo de longa data, me sedeu sua área e plantação para que eu pudesse trabalhar e adquirir meus dados para a pesquisa, meu muito obrigado.

Enfim, a todos que contribuíram para que eu chegasse onde estou hoje, meus agradecimentos mais sinceros a vocês.

Sumário

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Cultura do café e sua importância	13
2.2 Colheita mecanizada no café	14
2.3 Processamento de imagens no café	16
2.4 inteligência artificial	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5 CONCLUSÃO	25
6 REFERÊNCIAS	26

Monitoramento espaço-temporal da maturação do café utilizando metodologia de baixo custo baseado em imagem

RESUMO

Existem diversos termos a serem tratados em relação à importância do café no Brasil, tais como, a comercialização de máquinas e implementos agrícolas a serem utilizados na cultura para uma colheita mecanizada, a geração de mais empregos dentro e fora do campo, giro de renda no comércio de insumos e defensivos, nas exportações de café para fora do país e nas novas áreas como agricultura digital. A demanda por tecnologia em meio agrícola vem crescendo muito nos últimos anos, e o mercado vem atendendo bem a essa necessidade.. Para fazer acontecer tal realidade é preciso realizar diversas etapas, e, graças à inteligência artificial os avanços têm sido consideráveis. Objetivou-se neste trabalho a construção de um algoritmo de detecção de objetos para classificar frutos do café por estágio de maturação, visando a aplicação na colheita mecanizada seletiva . O modelo utilizado foi o SSD Mobilenet V2 e o algoritmo proposto apresentou precisão de pelo menos 41%. É possível usar o algoritmo de detecção de objetos de baixo custo, com imagens de banco de dados públicos. O estudo foi dividido em 2 propostas: a primeira com imagens de campo coletados por um dispositivo de baixo custo (em uma grade regular de pontos e em 4 datas) , a segunda baseado em imagens de um banco de dados público. Na média, a precisão foi de 41% (ou seja, 41% das detecções eram de fato frutos de café) e revocação de 58% (ou seja, foram detectados 58% de todos os frutos presentes na imagem). Nesse estudo foi possível implementar um algoritmo de detecção de objetos de baixo recurso computacional para classificar frutos de café por estágio de maturação.

Palavras-chave: Redes neurais, cientistas agrícolas, café

ABSTRACT

There are several terms to be discussed in relation to the importance of coffee in Brazil, such as the commercialization of agricultural machines and implements to be used in the crop for mechanized harvesting, the generation of more jobs inside and outside the field, income turnover in the trade in inputs and pesticides, in coffee exports abroad and in new areas such as digital agriculture. The demand for technology in the agricultural environment has grown a lot in recent years, and the market has been meeting this need well. The objective of this work was the construction of an object detection algorithm to classify coffee fruits by maturation stage, aiming at application in selective mechanized harvesting. The model used was the SSD Mobilenet V2 and the proposed algorithm presented an accuracy of at least 41%. It is possible to use low-cost object detection algorithm with images from public databases. The study was divided into 2 proposals: the first with field images collected by a low-cost device (in a regular grid of points and in 4 dates), the second based on images from a public database. On average, accuracy was 41% (ie 41% of the detections were actually coffee berries) and recall 58% (ie 58% of all berries present in the image were detected). In this study, it was possible to implement a low computational object detection algorithm to classify coffee fruits by maturity stage.

Keywords: Neural networks, agricultural scientists, coffee

1 INTRODUÇÃO

A agricultura digital, também conhecida como agricultura 4.0, impulsiona a melhora das atividades do campo utilizando sensoriamento remoto, aprendizado de máquina, conectividade e big data (DOERGE 1998). A Agricultura Digital se desenvolveu de forma rápida dentro do agronegócio e da agricultura, as aplicações são essenciais para o cenário atual, pois existe uma grande demanda por produção de alimentos, embora seja necessário que seja de forma sustentável (FAO, 2019). O café no Brasil é de alta importância econômica, já que no ano de 2021 o Brasil produziu 47,7 milhões de sacas (CONAB, 2021), atingindo um faturamento de R\$ 40,12 bilhões. Já em 2023 a estimativa é de que a produção esperada seja de 55,7 milhões de sacas de 60 quilos (CONAB, 2022). Esse volume superior é justificado pela presença do efeito da bienalidade positiva em muitas regiões produtoras do país, especialmente para o café arábica. A estimativa de produtividade para esse ano é de 30,6 sacas por hectare (CONAB, 2022).

A colheita do café é feita em duas etapas, sendo que na primeira irá ocorrer a derriça e, logo após, o recolhimento do café presente nas plantas. Na segunda etapa ocorre o recolhimento do café que fica no solo, conhecido como café de varrição. A colhedora tem hastes que vibram e, com essa vibração, uma força mecânica é aplicada nos galhos do cafeeiro ocorrendo então a derriça. As hastes devem ser ajustadas de acordo com a condição do cafeeiro, dependendo da sua maturação, variedade e produtividade, com foco principal uma melhor eficiência no processo de colheita (SANTINATO et al., 2014). Portanto, diferenciar ao estágio de maturação dos frutos é crucial para a correta configuração da máquina, o que é exigido na colheita seletiva, ou seja, aquela que retira apenas os frutos de interesse. Para isso, técnicas de processamento de imagem podem auxiliar na tomada de decisão, uma vez que substituem a visão humana, que é subjetiva, pela visão computacional. No uso dessas técnicas, geralmente as imagens são adquiridas no campo e, para modelos supervisionados, são classificadas manualmente, no intuito de ensinar o algoritmo quais são as áreas de interesse naquela matriz. Para o café, pesquisadores já classificaram os frutos com imagens RGB utilizando Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT), classificando folhas, frutos e galhos

(CARRIJO et al., 2017). Do mesmo modo, autores já utilizaram imagens de dispositivos móveis, atingindo precisão de 0,59 para classificação geral (RODRÍGUEZ et al., 2020).

A colheita mecanizada seletiva do café é um processo chave durante o cultivo. Não só porque é a última etapa, mas irá direcionar o destino do produto, bem como adicionar ou não algum valor agregado devido a seleção de frutos. Para fomentar o aumento de qualidade, mas também auxiliar na eficiência de sistemas de colheita, técnicas de visão computacional podem ser úteis. Essa tecnologia pode ou não integrar um sistema embarcado na máquina, ainda que inevitavelmente auxiliem na tomada de decisão do produtor ou operador. Portanto, nesse estudo objetivou-se a construção de um algoritmo de detecção de objetos para classificar frutos de café por estágio de maturação, visando a aplicação na colheita mecanizada seletiva, nossa hipótese a ser respondida seria se a identificação da maturação de forma antecipada por meio de algoritmo pode proporcionar a tomada de decisão na colheita seletiva (KAZAMA 2019).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do café e sua importância

Qual a grande importância do café para o Brasil? Existem diversos termos a serem tratados em relação a isso, tais como, a comercialização de máquinas e implementos agrícolas a serem utilizados na cultura, a geração de mais empregos dentro e fora do campo, giro de renda no comércio de insumos e defensivos e nas exportações de café para fora do país (SIQUEIRA, 2005).

Segundo a CONAB (2022), o café é uma cultura que se expandiu para mais de 14 estados a o longo dos tempos, com Minas Gerais liderando o ranking de produtividade com 22,6 sacas por hectare, enquanto o estado de São Paulo está em terceiro produzindo 20,2 sacas por hectare de café no ano de 2021. Em 2022 de acordo com a estimativa feita pela CONAB, a produção vai ser de 55,7 milhões de sacas de 60 kg, com produtividade de 30,6 sacas por hectare. A atual safra deve ser afetada pela presença do efeito da bialidade positiva, principalmente no café arábica, presente em várias regiões produtoras do Brasil.

O pé de café em si não passa de um arbusto que produz frutos que rendem alta economia para o mundo. Ele é da família Rubiaceae (*coffea arábica*), suas flores são de 2 sexos distintos, ou seja, são hermafroditas, contém um tom branco e ficam dispersas em conjuntos nos galhos da planta.

A altura que um pé de café pode chegar é de 4 metros quando cultivado (BIANCO, 2006). Segundo Alves (2008) os cachos de café se desenvolvem na axila da folha quando origem a até 4 flores. Depois disso ocorre a formação dos frutos onde se encontram de forma elíptica de coloração variada nas cores amarela vermelha ou verde. O cafeeiro possui 2 tipos de galhos o plagiotrópicos que é na transversal e o ortotrópico que seria reto, possui um caule em forma de cilindro, duro, com um tom amarelado (FERRAZ, 2013). Como toda planta, o café também tem uma raiz principal, com o nome de pivotante, ela é bem distribuída na primeira parte do solo (BIANCO JL 2006). Ela é grossa é não ultrapassa 50 cm da superfície do solo, além de ser pequena, por isso o café é uma planta pseudopivotante (NUTMAN, 1993; RENA e GUIMARÃES, 2000).

As raízes que saem do pivotante tem o nome de raízes axiais, elas podem chegar até 3 metros de profundidade no solo (Figura 1). As raízes verticais são distribuídas no sentido

horizontal ao solo. As raízes laterais de superfície conseguem ultrapassar 2 metros de comprimento. Elas se ramificam no sentido horizontal, mas claro avançam para outras direções o que é comum, crescendo em sentido oposto (RENA e GUIMARÃES, 2001).

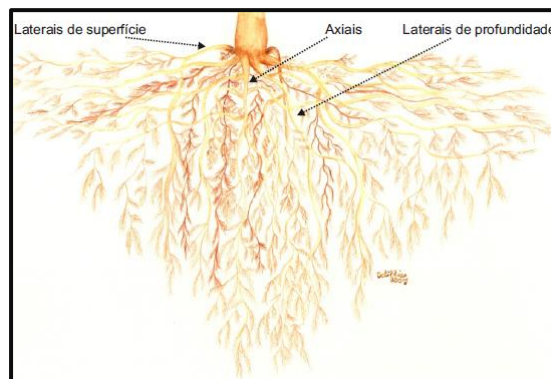


Figura 1. Representação do sistema radicular típico do cafeeiro (Adaptado de Livramento, Alves, Bartholo e Guimarães. Relatório Embrapa Café).

A maturação e produtividade dos frutos do café é desuniforme devido à sua florada, que ocorre de forma não uniforme. O estímulo hídrico é de suma importância na florada já que as gemas sofrem este estímulo e ocorre a florada, por isso a chuva é de grande importância na cultura do café no período de desenvolvimento do fruto (SANTINATO, 2016). A temperatura também está correlacionada com a iniciação da florescência dos botões de flores no cafeeiro. (RENA E MAESTRI, 1987).

2.2 Colheita mecanizada no café

No campo, a mecanização agrícola é usada para diversas funções e tarefas, sendo umas das principais ferramentas do produtor, por diminuir a mão de obra, aumentar a rapidez e eficiência no trabalho a ser feito. Ela elevou o patamar de produção de grãos no mundo (OLIVEIRA, E. D 2007). Segundo KASHIMA (1990) e BARBOSA et al, (2005), ao compararmos colheita mecanizada e a colheita manual do café, a colheita por meio de máquinas compensa mais porque reduz o custo da operação e aumenta a qualidade no fruto na hora da derriça.

Quando a maturação atinge o nível ideal para a colheita, a operação deve ser feita rapidamente para não se perder a qualidade do produto e para que não haja aumento nas perdas, no que resultará um maior lucro ao produtor. (SILVA et al. 2003).

De acordo com SANTINATO et al. (1998) o ideal é que haja apenas 2 passadas no sentido ida e volta da colhedora de café, assim a sua produtividade não será afetada.

Outro ponto a ser tratado sobre colheita mecanizada está na indicação do tempo ideal para dar início a uma operação, definição de vibração e velocidade operacional correta para cada estágio de determinada cultura e qual cultivar a ser utilizada. A regulação da colhedora é feita muitas vezes pelo seu condutor baseada na experiência de anos de serviço, sempre querendo alcançar o melhor desempenho operacional por tentativas totalitárias (SILVA et al., 2013).

A colheita do café propriamente dita é feita em duas etapas, sendo que na primeira irá ocorrer a derriça e, logo após, o recolhimento do café presente nas plantas; na segunda etapa ocorre o recolhimento do café que fica no solo, conhecido como café de varrição (SANTINATO et al., 2015). A colhedora tem hastes que vibram e, com essa vibração, uma força mecânica é aplicada nos galhos do cafeeiro ocorrendo então a derriça. As hastes devem ser ajustadas de acordo com a condição do cafeeiro, dependendo da sua maturação, variedade e produtividade, com foco principal uma melhor eficiência no processo de colheita (SANTINATO et al., 2014).

Sempre buscando melhorar os equipamentos e máquinas agrícolas, as colhedoras de café necessitam de uma regulação na parte de velocidade operacional, vibração das hastes, pois, quanto menor a velocidade e maior a vibração, mais eficiente será a colheita (SILVA et al., 2000). Quando se passa apenas uma vez na rua do café a desfolha é menor do que a colheita manual, e se passássemos 2 vezes a desfolha se igualaria a colheita manual.

Na colheita seletiva do café, Silva (2008) apontou que o melhor momento para se iniciar a colheita mecanizada é quando a diferença da força de desprendimento do pedúnculo do fruto verde e cereja esteja por volta de 3N, para ocorrer a primeira passada.

O café pode se desprender do pé por vários fatores, naturais ou não, tais como maturação avançada, chuva e ventos fortes, existências de doenças e pragas, e pela própria colheita mecanizada no cafeeiro (SANTINATO et al., 2015).

Atualmente existem indústrias que já desenvolveram colhedoras capacitadas de realizar seu trabalho em áreas de declividade até 30%, mas quanto maior o declínio maior será o tempo gasto para que tal atividade seja executada (SANTINATO et al., 2016).

2.3 Processamento de imagens no café

A demanda por tecnologia em meio agrícola vem crescendo muito nos últimos anos e o mercado vem atendendo bem a essa necessidade, exemplos de inovações no mercado atual é: confecções de mapeamento, máquinas autônomas, monitoramento do dossel entre outros diversos exemplos (PAJARES et al., 2016), e o processamento de imagem entra nessa parte como um item fundamental dentre as novas tecnologias.

A identificação de objetos animados ou inanimados é um dos principais temas debatidos no século 21, para fazer acontecer tal realidade é preciso realizar duas etapas, uma delas é a identificação, o que o objeto é, sua classe e a outra é detectar onde este objeto se encontra na imagem. O *deep learning* é o *machine learning* mais avançado para tal tarefa, pois pega exemplos do modelo direto da base de dados, apresentando uma boa perfeição (KAZAMA 2019).

Foi desenvolvido por Avendano et al. (2017) um sistema de classificação vegetal nos galhos do café, ele identifica: folhas, flores, galhos e frutos verdes, cereja e os secos. Eles utilizaram técnicas chamadas *Structure from motion* (SfM) e *Patch-based multi-view stereo* (PMVS) que fazem uma reconstrução 3D. Mas esse software demorou muito tempo para classificar um único galho e ele confunde as cores do fruto do café entre si e com folhas verdes.

Pesquisadores da Ásia (Japão e Timor Leste), processaram imagens utilizando o *deep learning*. As imagens utilizadas foram frutos verdes do café em cada tipo de defeito. No laboratório eles utilizaram luzes artificiais e os frutos estavam expostos sobre uma folha de

papel branca, as luzes auxiliaram nas capturas das imagens. Os pesquisadores conseguiram 99% de acurácia nos grãos pretos e 68% de acurácia nos grãos quebrados (PINTO et al., 2017).

2.4 inteligência artificial

A inteligência artificial tem atraído atenção em vários campos de pesquisa, e a agricultura não é exceção. Todo setor agrícola busca espaço para atuar em todo o processo produtivo. O aprendizado de máquina tem impactado todos os setores da economia, principalmente por sua capacidade de analisar e interpretar dados mais rapidamente que os humanos, daí o crescente investimento e adoção de inteligência artificial, principalmente para agilizar processos em fábricas, transportes, imóveis e Agronegócios (Pinheiro et al., 2021).

A IA é aplicada por meio de informações sobre culturas e gerenciamento de dados (visão computacional, aprendizado de máquina, reconhecimento de padrões, robótica), automação de operações agrícolas. Isso nos permite imaginar a inteligência artificial como qualquer tecnologia que possa substituir de forma mais eficaz os empregos humanos (Pinheiro et al., 2021).

Atualmente, a determinação da qualidade das sementes é feita manualmente por especialistas através de testes de controle de qualidade ou em classificadores de grãos antes da etapa de comercialização. Validado por uma ferramenta de software baseada na web que determina automaticamente o nível de qualidade de amostras de milho a partir de imagens. Algoritmos de processamento de imagem são implementados para corrigir distorções causadas principalmente pelo processo de captura. Usando o algoritmo de classificação K-Means (Pinheiro et al., 2021).

Os avanços na tecnologia de inteligência artificial permitiram que métodos de análise de imagem e aprendizado de máquina fossem combinados para diferentes propósitos. Um estudo recente mostrou a possibilidade de classificar as sementes de *Jatropha*. A qualidade das imagens de raios-X foi determinada usando dados fenotípicos obtidos por meio de análise com métodos de aprendizado de máquina (Pinheiro et al., 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas propostas: a primeira baseada em imagens de campo coletadas por um dispositivo de baixo custo que foi um Samsung s20 fe ; a segunda baseada em imagens de um banco de dados público internacional. Essa divisão foi necessária para verificar se as adversidades das imagens de campo seriam fortes o suficiente para inviabilizar o algoritmo. Portanto, o experimento em campo foi conduzido na zona rural do município de Cássia dos Coqueiros, SP, localizado em 21°16'48.39"S 47° 9'58.37"O, no sitio Santa anezia localizado em 21°16'1.20"S 47° 7'18.69"O com altitude de 1000 m. A data de coleta foi antecedente à colheita mecanizada.

Quatro áreas foram selecionadas para o experimento, assim obtivemos dados de quatro variedades distintas. A primeira variedade foi o IAPAR 59, plantado em dezembro de 2009 (13 anos de idade), a área tem 12,8 hectares com uma quantidade de 40000 pés de café, as fotos dessa variedade começaram a ser tiradas 6 semanas antes da colheita no dia 01/04/2022 e sendo finalizada no dia 30/04/2022, localizada em 21°16'14.11"S 47° 7'23.50"O. A segunda variedade foi o Arara, plantado em dezembro de 2019 (3 anos), a área tem 4,5 hectares com uma quantidade de 15000 pés de café, teve início da coleta de dados 5 semanas antes da sua colheita no dia 07/05/2022 e sendo finalizada no dia 03/06/2022, localizada em 21°16'1.99"S 47° 7'14.61"O. A 18ermelho variedade foi o Catuaí 18ermelho, plantado em dezembro de 2017 (5 anos), a área tem 7,04 hectares com uma quantidade de 25000 pés de café, também com início da aquisição de fotos 4 semanas antes da sua colheita no dia 28/05/2022 e sendo finalizada no dia 25/06/2022, localizado em 21°17'5.61"S 47° 6'30.67"O. E por fim o Catuaí amarelo, plantado em dezembro de 2017 (5 anos), com área total de 6,26 hectares contendo 15000 pés de café nesse talhão, começou a ser tirada as fotos 5 semanas antes da sua colheita no dia 11/06/2022 e sendo finalizada no dia 09/07/2022, localizado em 21°17'9.25"S 47° 6'35.57"O.

Para a coleta de imagens em campo, um suporte de cano de PVC foi construído para apoiar um smartphone. Nesse, havia três travas para delimitar três diferentes alturas de

coleta, a altura e dimensão do terço foi dada da seguinte maneira: era tirada a altura do pé de café e esse número era dividido em 3, assim ficando igual para cada terço da planta, visando distinguir os terços que dividem a planta de café. Aproximadamente 30 pés de café foram avaliados ao longo da área, para também observar alguma mudança no estágio de maturação entre plantas. Os pontos foram distribuídos de forma equidistante em uma grade regular e foi utilizado um GPS Garmin com erro de 3 metros para o caminhar na área. No total, foram adquiridas 90 imagens (30 plantas x 3 terços). Os pontos da área eram espaçados de forma que cobrissem a área inteira, sem deixar extremos, assim não tendo distâncias definitivas, porque cada área tinha um tamanho.

As imagens públicas foram obtidas em um banco de dados hospedado no servidor Kaggle (www.kaggle.com). O banco conta com 155 imagens de frutos de café, dividido e balanceado nos estágios de maturação verde, verde-cana e maduro. Em todas as imagens os frutos estavam presentes nos galhos ou, pelo menos, ainda aglomerado, conforme o estado natural pré-colheita. Esse critério foi de suma importância para comparação com as condições de campo. Entretanto, não foram utilizadas todas as imagens para a construção do algoritmo, devido à presença de marcas d'água, baixa qualidade ou quaisquer outros elementos que ocultasse os frutos. Assim, no total foram separadas 45 imagens, 15 para cada condição de maturação.

O algoritmo selecionado para detecção de objeto foi o MobileNetSSDV2. Dentre os diversos disponíveis, esse tipo de arquitetura é ideal para funcionamento em dispositivos de menor recurso computacional, como smartphones. Além disso, por possuir menor número de camadas, realiza a inferência com menor tempo.

O SSD Mobilenet v2 ganhou popularidade em diversas pesquisas, devido a sua rede enxuta e novas convoluções separáveis em profundidade. Ele é um modelo de detecção de imagem. Ele é instalado em aparelhos de nível baixo de computação, como móveis com um desempenho de alta precisão. O treinamento do modelo começa com a aquisição de dados. A marcação das imagens é feita usando um software LabelImg, ele através de um Código aberto de um sistema insere caixas delimitadoras (Figura 2) e as salva em XML. Parâmetros do

modelo, como tamanho do lote, número de etapas, treinamento e teste do diretório TF-Records, é a parte que envolve a configuração do treinamento do modelo.

Ambos os bancos de dados foram divididos em uma relação 70-30 % para treinamento e teste, respectivamente. A seleção dos objetos de interesse para alimentar o algoritmo foi realizada utilizando o software Labellmg. Para elaboração do algoritmo, foi utilizado a plataforma Google Colaboratory (www.colab.com) e a biblioteca Tensor Flow. Isso foi condicionado devido ao recente progresso da computação em nuvem, que utiliza recurso computacional de outros servidores, minimizando o uso de hardwares. O modelo foi treinado até atingir 100 mil etapas, o que consumiu aproximadamente 1 dia útil. A avaliação do modelo foi realizada utilizando as métricas de AP (Precisão Média) e AR (Revocação Média) nos diferentes limites de intersecção sobre a união (IoU) de 0,50 a 0,95, assim como realizado em outros estudos de detecção de objeto. Os valores de precisão e revocação são utilizados para avaliar a performance de detecção do algoritmo proposto. Enquanto precisão mede quantos objetos são de fato frutos de café, a revocação mede quantos frutos foram detectados em relação ao total de frutos a serem detectados na imagem. Os valores partem de 0 a 1, e são calculados em limites de intersecção (IoU) de 0,50 a 0,95. Além disso, uma comparação entre a contagem e quantificação manual e automática dos frutos por estágio de maturação foi realizada. Logo abaixo temos as equações de AP e AR.

$$AP = \frac{TP}{TP+FP} \quad AR = \frac{TP}{TP+FN}$$

TP = Verdadeiro positivo

FP = Falso positivo

FN = Falso negativo

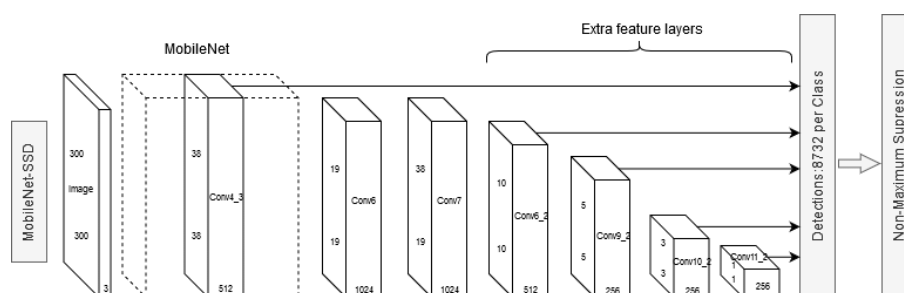


Figura 2. Arquitetura do modelo SSD MobileNet V2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às condições adversas, a proposta detecção de frutos utilizando imagens do campo foi inviabilizada. A baixa qualidade das imagens em campo, associada à distância e perspectiva entre a câmera e as plantas, alto volume foliar e má iluminação, não favoreceu a construção do modelo, sendo impossível realizar a detecção, isso pode ser visto na figura 3. Portanto, a seguir são apresentados os resultados apenas do algoritmo alimentado com o banco de dados público. Para esse, não houve problemas que inviabilizaram o estudo, pois as imagens, ainda que também das plantas, foram mais bem adquiridas (i.e., melhor iluminação, maior resolução e foco). Na Tabela 1 é mostrado os resultados de AP e AR para cada intersecção sob a união.



Figura 3. Exemplo de alta densidade, má iluminação e presença de frutos secos nas imagens de campo.

Tabela 1. Resultados para as métricas de avaliação AP e AR.

Métrica	Interseção	Valor
AP	0,50:0,95	0,41
AP	0,50	0,63
AR	0,75	0,49
AR	0,50:0,95	0,58

Para a detecção e classificação da maturação do café, pode-se dizer que, com o algoritmo proposto: os resultados estarão corretos 41% das vezes (precisão) e que, em uma determinada imagem, irá detectar aproximadamente 58% dos frutos por classe de maturação, na média. Os valores podem variar devido ao limiar. Quanto menor o limiar utilizado, maior será a revocação e menor será a precisão, uma vez que outros elementos na imagem poderão ser detectados (e.g., folhas verdes como frutos verdes).

Com as imagens utilizadas no teste do algoritmo, observa-se que a densidade de frutos contribuiu diretamente para o menor desempenho do modelo. Isso ocorre, provavelmente, devido a sobreposição de frutos, em que apenas os frutos do lado externo do aglomerado são visíveis e, portanto, detectáveis. Para imagens com frutos nitidamente separados, o algoritmo conseguiu classificar perfeitamente (Figura 4). Essa característica não é interessante para a aplicabilidade em campo, pois uma planta de café com alta produtividade pode possuir milhares de frutos.

correlação moderada entre os dois métodos, mesmo com os impasses descritos anteriormente.

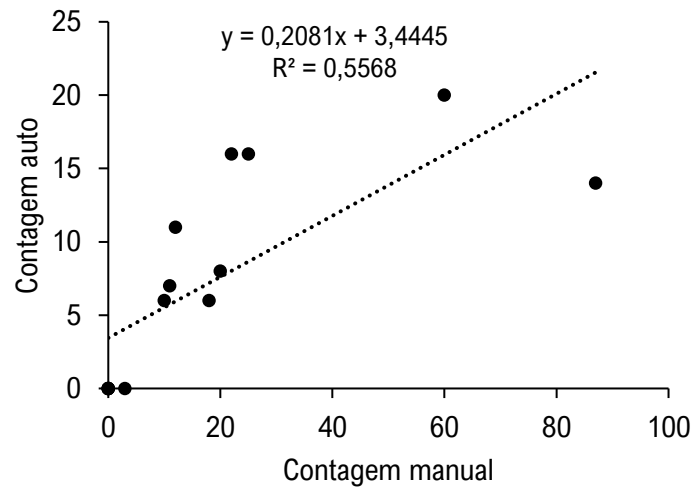


Figura 5. Regressão entre a contagem manual e automática, utilizando detecção de objetos.

Para melhorar a aplicabilidade do método, aumentando os valores de precisão e revocação, futuros estudos devem utilizar algoritmos mais complexos, ainda que isso custe maior recurso computacional. O ambiente de detecção também deve ser aprimorado devido à natureza de alto volume foliar da planta. Entre as alternativas, câmeras de alta resolução embarcadas em veículos terrestres podem otimizar a detecção. Além disso, correções para os problemas de similaridade entre frutos verdes e folhas, distância e sobreposição entre frutos devem ser considerados.

5 CONCLUSÃO

Nesse estudo foi possível implementar um algoritmo de detecção de objetos de baixo recurso computacional para classificar frutos de café por estágio de maturação. Embora as imagens utilizadas foram de um banco de dados público, ou seja, sem padrão de aquisição, a alta resolução favoreceu a detecção, obtendo resultados moderados, com precisão e revocação superiores à 0.40.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, J.D. (2008) Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C.H.S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, p.35-56.
- AVENDANO, J., RAMOS, P.J., PRIETO, F.A. (2017) A system for classifying vegetative structures on coffee branches based on vídeos recorded in the field by a mobile device. **Expert systems with applications**. 88: 178-182.
- BARBOSA, J.A. et al. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.
- BIANCO, J.L. (2006) **A trajetória do café**. São Paulo: All Print Editora, 202 p. Carvalho e Mênaco, 1965
- BROWNLEE, J. **A Gentle introduction to object recognition with Deep Learning**. Disponível em: <https://machinelearningmastery.com/object-recognition-with-deep-learning/>. Acesso em junho/2023.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/2021**, oitavo levantamento: maio/2021. Brasília: Conab, 2021.
- FERRAZ, A. (2013). **Cultura do café**. Instituto Formação, 2.
- KASHIMA, T. A colheita mecanizada do café: produtos, desempenho e custos. In: **Ciclos de estudos sobre mecanização agrícola**, 4., 1990, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação CARGILL, 1990. p.234-246.
- KAZAMA, E.H. **Colheita de prescrição para o café, é possível?**. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Jaboticabal, 2019.
- OLIVEIRA, E. D., SILVA, F. M. D., SOUZA, Z. M. D., & FIGUEIREDO, C. A. P. D. (2007). Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, 37, 1466-1470.

PAJARES, G., GARCÍA-SANTILLÁN I, CAMPOS, Y., MONTALVO, M., GUERRERO, J.M., EMMI, L., ROMEO, J., GUIJARRO, M., GONZALEZ-DE-SANTOS, P. (2016) Machine-vision systems selection for agricultural vehicles: a guide. **Journal of Imaging** 2, 34: 1-31. DOI: 10.3390/jimaging2040034

Pinheiro, R. de M., Gadotti, G. I., Monteiro, R. de C. M., & Bernardy, R. . (2021). Inteligência artificial na agricultura com aplicabilidade no setor sementeiro . **Diversitas Journal**, 6(3), 2996–3012. https://doi.org/10.48017/Diversitas_Journal-v6i3-1857

PINTO, C., FURUKAWA, J., FUKAI, H., TAMURA, S (2017) **Classification of green coffee bean imagees based on defect types using convolucional neural network** (CNN). In: International Conference on advanced informatics, concepts, theory and applications (ICAICTA) IEE. **Proceedings...** Denpasar: Indonesia.

SANTINATO, F. (2016) **Inovações tecnológicas para cafeicultura de precisão**.119f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

SANTINATO, F., RUAS, R.A.A., SILVA, R.P., CARVALHO, F.A., SANTINATO, R. (2015) Número de operações mecanizadas na colheita do café **Ciência Rural** 45, 10: 1809-1814.

SANTINATO, F., SILVA, R.P., CASSIA, M.T., SANTINATO, R. (2014) Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras **Coffee Science** 9, 4: 495- 505.

SANTINATO, R. et al. Número e modo de passada da colhedora K3-jacto e seus efeitos na produção do cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. 24., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA-PROCAFÉ, 1998. p.60-61.

SILVA, F.C., SILVA, F.M., SILVA, A.C., BARROS, M.M., PALMA, M.A.S. (2013) Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, 8, 1: 53 – 60.

SILVA, F.M. et al. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.309-315, 2003.

SILVA, F.M. et al. Desempenho operacional da colheita mecanizada com várias passadas da colhedora de café. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**. 26., 2000, Marília, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA-PROCAFÉ, 2000. p.345-347.