



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Agrárias
Campus Regional Montes Claros



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

**MÉTODO DE CORREÇÃO DE DISTORÇÕES NA ANÁLISE DE IMAGENS PARA
MELHORIA DA FENOTIPAGEM EM FRUTOS DE TOMATES**

Nayany Gomes Rabelo

Montes Claros – MG
2023

Nayany Gomes Rabelo

**MÉTODO DE CORREÇÃO NA ANÁLISE DE IMAGENS NA FENOTIPAGEM EM
FRUTOS DE TOMATES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito avaliativo parcial da Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof.º Dr. Alcinei Místico Azevedo

Montes Claros 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Instituto de Ciências Agrárias

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos 04 dias do mês de Dezembro de 2023, às 08h 10min, a estudante Nayany Gomes Rabelo, matrícula 2019090559, defendeu o Trabalho intitulado "CORREÇÃO DE DISTORÇÕES NA ANÁLISE DE IMAGENS PARA A MELHORIA DA FENOTIPAGEM EM FRUTOS DE TOMATES" tendo obtido a média (93,33).

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar, assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: Noventa e três e trinta e três (93,33)

Orientador(a): Alcinei Místico Azevedo

Nota: Noventa e três e trinta e três (93,33)

Examinador(a): Elcio da Silveira

Nota: Noventa e três e trinta e três (93,33)

Examinador(a): Jailson Ramos Magalhães

Nota: Noventa e três e trinta e três (93,33)

Examinador(a): Sandra Eulália Santos Faria



Documento assinado eletronicamente por **Alcinei Místico Azevedo, Professor do Magistério Superior**, em 05/12/2023, às 09:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jailson Ramos Magalhães, Servidor(a)**, em 05/12/2023, às 10:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Elcio da Silveira, Professor do Magistério Superior**, em 07/12/2023, às 09:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Sandra Eulália Santos Faria, Usuária Externa**, em 07/12/2023, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2871804** e o código CRC **D4B73C5F**.

Dedico a minha família Maria, Alcir, Nathany, meus avós Honorato e Veridiana, por todo incentivo e apoio ao longo de todos esses anos. Também ao meu padrinho Enock que serviu de inspiração e me ajudou no momento mais necessário para iniciar essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Maria e Alcir, os quais serviram de motivação e incentivo para essa conquista, fruto de muito trabalho e apoio durante essa caminhada.

A minha querida irmã Nathany, que foi minha inspiração e amparo em todos os momentos de desafio, dando-me motivos para sempre acreditar no meu potencial.

A minha querida amiga e irmã Deltimara, que sempre esteve comigo ao longo desses cinco anos de graduação me dando apoio e caminhando sempre ao meu lado, seja onde, como e quando, sempre se fazendo presente.

Agradeço ao apoio e amparo que recebi durante meus quase 3 anos de integração do Grupo de Estudos em Experimentação Agrícola (GEEA), pelos trabalhos desenvolvidos e implantação de experimentos a campo e construção do presente trabalho sob orientação do professor Alcinei Místico Azevedo.

Agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais por todo suporte acadêmico e financeiro durante a graduação.

Meu muito obrigada!

“Mesmo a força às vezes tem de se
curvar à sabedoria.”

- Annabeth Chase.

RESUMO

Originário dos Andes, a cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* mil) foi introduzido na Europa no século XVI. Atualmente, é uma planta cultivada em todo o mundo, desfrutando de significativo aumento na produção e consumo, sendo uma das hortaliças mais consumidas no mundo ocupando a posição de quinta maior cultivar produzida. A cultura do tomate é muito apreciada por consumidores na forma *in natura* ou na forma processada. Devido ao avanço em estudos e pesquisas no desenvolvimento de ferramentas de engenharia genética e biotecnologia vegetal tem sido possível desenvolver e avaliar características morfoagronômicas e o aumento na produtividade (GERSZBERG, *et al.*, 2015). Por ter grande valor social e econômico, além de ter ciclo relativamente curto, é utilizada como planta modelo em pesquisas de diferentes temáticas. O objetivo desse trabalho foi desenvolver e testar a eficiência de uma metodologia para a correção do peso de frutos de tomate estimado por meio de imagens em função de distorções ocasionadas por diferentes inclinações da câmera. Para a obtenção das imagens foi utilizado um estúdio fotográfico com a dimensão de 60 x 60 x 60 cm e a câmera de um smartphone Iphone®, modelo XR. Inicialmente foi impressa em folha A4 (21 x 29,7 centímetros) 12 quadrados de dimensão 4 x 4 cm de cor preta. Quatro dessas folhas foram colocadas no interior do estúdio. Adicionalmente, utilizou-se como objeto de referência para corrigir as distorções oito folhas quadradas amarelas de dimensão 3 x 3 cm. Foram obtidas 40 imagens com diferentes angulações da câmera. Posteriormente foi aplicado um modelo de regressão múltipla para o ajuste em cada imagem com objetivo de obter um fator de correção a partir da coordenada. Após o ajuste do modelo considerado, estimou-se o valor a ser utilizado como coeficiente de correção para cada *pixel*. A partir destes valores, foi verificado a eficiência da metodologia a partir do coeficiente de variação (CV), erro quadrático médio (EQM) e análise de regressão. A partir da análise de regressão, foi possível estimar o peso dos frutos a partir da área da imagem ocupada em pixels com coeficiente de determinação (R^2) de 0,858. Após a correção da distorção das imagens, foi possível reduzir o EQM e CV, indicando eficiência da metodologia utilizada. Portanto a utilização da metodologia garante uma maior eficácia para a estimação do peso de tomates por meio da obtenção de imagens.

Palavras-Chave: Fenômica. Melhoramento do tomateiro. Distorções em imagens. Pixels.

SUMMARY

Originally from the Andes, the tomato crop (*Solanum lycopersicum* mil) was introduced to Europe in the 16th century. Currently, it is a plant cultivated throughout the world, enjoying a significant increase in production and consumption, being one of the most consumed vegetables in the world, occupying the position of fifth largest cultivar produced. The tomato crop is highly appreciated by consumers in natural or processed form. Due to advances in studies and research in the development of genetic engineering and plant biotechnology tools, it has been possible to develop and evaluate morphoagronomic characteristics and increased productivity (GERSZBERG, et al., 2015). Because it has great social and economic value, in addition to having a relatively short cycle, it is used as a model plant in research on different themes. The objective of this work was to develop and test the efficiency of a methodology for correcting the weight of tomato fruits estimated through images due to distortions caused by different camera inclinations. To obtain the images, a photographic studio measuring 60 x 60 x 60 cm and the camera of an Iphone® smartphone, model XR, were used. Initially, 12 squares measuring 4 x 4 cm in black were printed on A4 paper (21 x 29.7 centimeters). Four of these sheets were placed inside the studio. Additionally, eight square yellow sheets measuring 3 x 3 cm were used as a reference object to correct distortions. 40 images were obtained with different camera angles. Subsequently, a multiple regression model was applied to adjust each image in order to obtain a correction factor based on the coordinate. After adjusting the model considered, the value to be used as the correction coefficient for each pixel was estimated. From these values, the efficiency of the methodology was verified using the coefficient of variation (CV), mean squared error (MSE) and regression analysis. From the regression analysis, it was possible to estimate the weight of the fruits based on the area of the image occupied in pixels with a coefficient of determination (R^2) of 0.858. After correcting image distortion, it was possible to reduce the NDE and CV, indicating the efficiency of the methodology used. Therefore, the use of the methodology guarantees greater effectiveness for estimating the weight of tomatoes by obtaining images.

Keywords: Phenomics. Tomato improvement. Distortions in images. Pixels.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estúdio para aquisição das imagens com iluminação artificial com lâmpadas fluorescente	17
Figura 2 – Imagem obtida em estúdio antes (a) e após (b) a segmentação, e o coeficiente de correção da área obtida por pixel para todo o estúdio (c) e para objetos de interesse (d)	17
Figura 3 – Paleta de cores para identificar na imagem os pixels correspondentes ao objeto de referência (a) e ao restante da imagem (b)	19
Figura 4 – Imagem original (a) em escalas de cinza (b) e segmentada (c) para o ajuste de um modelo de regressão para a estimação do peso do fruto a partir do número de <i>pixels</i>	21
Figura 5 – Exemplo de uma imagem obtida com os frutos de tomate para validar a metodologia para a correção de distorção na imagem ocasionada pela inclinação da câmera	22
Figura 6 – Estimativa do coeficiente de variação da área de objetos obtidas por análise de imagens antes (A) e após a correção (B) e erro quadrático médio (EQM) antes (C) e após (D) a correção em função de diferentes angulações da câmera	23
Figura 7 – Regressão para a estimação do peso de frutos do tomateiro em função de sua área estimada por meio da análise computacional de imagens	24
Figura 8 – Estimativa do erro quadrático médio (EQM) antes (a) e após (b) a correção no peso de frutos de tomateiro em função de diferentes angulações da câmera	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ANÁLISE DE IMAGENS	13
2.2 FENOTIPAGEM	14
2.3 TOMATE COMO ESPÉCIE MODELO PARA ESTUDOS.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Obtenção de imagens e criação de modelo	16
3.2 Instalação de experimento com a cultura do tomate	18
3.3 Ajuste para a estimação do peso do fruto a partir da imagem	20
3.4 Validação do modelo de correção para os frutos de tomate	20
4. RESULTADOS	21
4.1 Validação do método de correção para os frutos de tomate.....	21
4.2 Análise de regressão para estimar o peso do fruto através da área observada	23
4.3. Estimativa do erro quadrático médio para o peso estimado do fruto antes e após a correção	24
5. DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS	26
ANEXO 1.....	31

1. INTRODUÇÃO

As imagens digitais são informações visuais armazenadas em sistemas computacionais, que possibilitam o compartilhamento e acesso a informações em pouco tempo e de forma ágil e precisa. Estas informações são utilizadas na agricultura para identificar cultivares de culturas, avaliar o desenvolvimento das partes vegetativas e reprodutivas dos vegetais, detectar plantas daninhas e identificar deficiências nutricionais (DELL' AQUILA, 2009).

Cada imagem digital é composta por pequenos pontos chamados *pixels*, a unidade básica da medida. Cada *pixel* contém informações de cor, e o conjunto desses forma a imagem completa. A quantidade de *pixels* da imagem é determinada por número de unidades fotossensíveis presentes no sensor da câmera (GUERRERO *et al.*, 2012). Uma das ferramentas da análise de imagem é a fenotipagem que consiste em recurso amplamente utilizado no melhoramento vegetal e permite realizar avaliações quantitativas e qualitativas em indivíduo. Porém, essas podem retornar resultados imprecisos em consequência de distorções nas imagens.

Entre os maiores problemas verificados na obtenção de imagens por câmeras digitais é a mensuração da dimensão do objeto, em consequência das distorções relacionadas aos diferentes posicionamentos e inclinações da câmera, além de fatores do ambiente, como luminosidade (OLAS; FICHTNER; APELT, 2020).

A correção de distorções é etapa importante na análise de imagens, especialmente em aplicações de alta precisão e exatidão. Distorções podem ser causadas por diversos fatores, tais como posicionamento da câmera, lente utilizada e condições ambientais, podendo interferir na qualidade e precisão da imagem. Portanto, o método de correção de distorções é usado para minimizar ou eliminar efeitos negativos e, melhorar a qualidade e precisão da análise de imagem

A correção de distorções pode ser realizada somente por métodos manuais ou algoritmos automatizados, como calibração de câmera e correção de distorção geométrica. Esta correção é crucial para diversas áreas, tal qual visão computacional, robótica e reconhecimento de padrões, dentre outras, e tem impacto direto na confiabilidade e precisão dos resultados obtidos a partir das imagens, sendo também uma possibilidade na área de produção agrícola. A utilização de imagem digital proporciona uma avaliação mais precisa e eficiente dos frutos, representando uma alternativa viável tanto para o setor produtivo quanto para a pesquisa. (CHEN *et. al.*, 2002).

O desenvolvimento do método proposto na presente pesquisa possibilitará fazer a correção das dimensões do objeto na foto por meio do tamanho obtido em relação ao tamanho real. Isso possibilita estimar tamanho, peso e a produtividade das culturas com melhor precisão. O método de correção de imagens pode ser utilizado na fenotipagem de diferentes espécies agrícolas, como a cultura do tomateiro, a qual é considerada planta modelo por causa do desenvolvimento rápido e alto valor econômico e social.

Originário dos Andes, o tomate (*Solanum lycopersicum*) foi introduzido na Europa no século XVI. Atualmente, é uma planta cultivada em todo o mundo, desfrutando de significativo aumento na produção e consumo. Atualmente ocupando a posição de quinta maior cultivar produzida. O avanço em estudos e pesquisas no desenvolvimento de ferramentas de engenharia genética e biotecnologia vegetal tem aberto grandes oportunidades para a engenharia de plantas de tomate, visando desenvolvimento de materiais com melhores características morfoagronômicas e aumento na produtividade (GERSZBERG, *et al.*, 2015).

O tomate encontra-se entre as hortaliças mais consumidas e aceitas nos mercados, por possuir amplo uso gastronômico, ser fonte de licopeno na alimentação de seres humanos, componente com ação preventiva contra doenças degenerativas e tumorais, além de ser fonte de vitaminas A e C e de sais minerais como potássio e magnésios (PEDÓ, *et al.*, 2022).

Com a grande procura e consumo dessa hortaliça, atualmente tem se buscado desenvolver metodologias de cultivo e programas de melhoramento genético com o intuito de expandir e favorecer a produção em escala e baixo custo. Para isso, é necessário desenvolver pesquisas, as quais podem utilizar a fenotipagem com análise de imagens, para melhorar a precisão do experimento e reduzir tempo, recursos financeiros e mão-de-obra. Logo, pretende-se desenvolver um algoritmo e testar sua eficiência para a correção de distorções em imagens para melhorar a fenotipagem de frutos, utilizando o tomateiro como planta modelo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE DE IMAGENS

A análise de imagens se tornou importante especialmente na agricultura. O avanço tecnológico possibilitou o uso de câmeras, *scanners* e outros recursos digitais para a obtenção de imagens. O aumento da disponibilidade de recursos computacionais permitiu estudos, em larga escala, utilizando análise de imagens. Porém, para obter dados confiáveis a análise de imagens é muito importante (RODRIGUES, 2015). Pesquisas já foram realizadas com a análise de imagens na agricultura, avaliando por exemplo o vigor em sementes de girassol (ROCHA; SILVA; CÍCERO, 2015), e crescimento de plântulas de arroz (SILVA; DOTTO, 2017) e os resultados obtidos foram positivos.

A utilização de câmeras digitais para análise de plantas é um método não destrutivo, rápido e reprodutível, que possibilita extrair informações e permite o armazenamento das imagens em bancos de dados, possibilitando avaliações futuras com a utilização de programas computacionais. A análise de imagens em plantas tem sido realizada em todos os órgãos vegetais e em diferentes escalas, micro e macroscópica, e, em diversos ambientes e situações (BARBOSA *et al.*, 2016).

A obtenção de imagens digitais com boa resolução pode ser realizada com câmeras digitais de modo rápido e simples (GODOY *et al.*, 2007). Os resultados obtidos por GODOY *et al.* (2007) a partir de *scanners* e câmeras fotográficas comparados com o modelo de integrador óptico de área foliar LICOR-3100, apresentaram valores do coeficiente de determinação próximo a 1, ou seja, a utilização da câmera digital apresentou eficiência e praticidade.

2.2 FENOTIPAGEM

A fenotipagem refere-se à mensuração de características fenotípicas em espécies vegetais. Isso resulta na seleção de características morfológicas da planta desejáveis para a aplicação de técnicas de melhoramento genético ou demais pesquisas fitotécnicas. Entretanto, por meio das técnicas tradicionais de avaliação, a fenotipagem possui complexidade, pois diversas características, como peso, tamanho de plantas e número de frutos, dentre outros parâmetros, além de número elevado de indivíduos são necessárias para caracterizar a população (SOUSA, *et al.*, 2015). Isso torna a pesquisa onerosa e laboriosa.

Avanços das tecnologias genéticas, como sequenciamento de DNA de próxima geração pode ser utilizado como recurso no aperfeiçoamento do melhoramento genético, permitindo aos pesquisadores analisar e comparar muitas informações genéticas em pouco tempo. Contudo, a dificuldade da fenotipagem da forma tradicional em larga escala pode acarretar dificuldades para identificar características genéticas específicas, e sem esta pode ser impossível avaliar com precisão as características dos indivíduos e selecionar os mais desejáveis (LI; ZHANG; HUANG, 2014).

A área de obtenção de dados e informações avançou e resultou na abordagem denominada fenotipagem de alta precisão, a qual consiste na obtenção de dados em ambientes controlados ou em campo (SOUSA, *et al.*, 2015). Assim são realizadas mensurações em escala elevada e em tempo real de características não medidas facilmente por métodos convencionais. Portanto, essa técnica possibilita avanços em escala, precisão, reprodutibilidade e complexidade em relação às tradicionais, por utilizar recursos tecnológicos e automatizados.

O desenvolvimento de pesquisa em fenotipagem de alta eficiência garante obtenção de dados anteriormente denominados como gargalos no melhoramento de cultivares, pois, as características fenotípicas são submetidas a variações bióticas e abióticas (WANNENG, *et al.*, 2020). O desenvolvimento de plataformas de alto rendimento de campo é importante por permitir a obtenção de dados apurados. O processamento de muitos dados fenotípicos de maneira rápida e precisa foi facilitado com o progresso na utilização de sensores, de aeronáutica e de computação de alto desempenho, por meio de aparelhos portáteis, de fácil acesso e manipulação, além da utilização de drones na captura de imagens de alta resolução (ARAUS; CAIRNS, 2014).

2.3 TOMATE COMO ESPÉCIE MODELO PARA ESTUDOS

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* mil) é uma das hortaliças mais consumidas mundialmente, e muito apreciada por consumidores de forma *in natura* e também em forma processada que origina diversos derivados como extratos, polpas, tomates secos, conservas e demais produtos (TEIXEIRA, 2022). Em consequência da importância comercial e ciclo relativamente curto, a cultura é utilizada como modelo em várias pesquisas.

Quanto a morfologia, o tomateiro apresentam hábitos de crescimento indeterminado e altamente determinado, isso resulta no direcionamento da produção para o comércio, para uso industrial ou *in natura*. Os materiais de crescimento altamente determinado cessam o desenvolvimento em momento específico e ocorre a limitação do período de florescimento e isso proporciona colheitas padronizadas e em escala elevada. Os tomateiros com hábito de crescimento indeterminado apresentam inflorescências durante todo o ciclo da cultura, tendo maiores restrições relacionadas ao manejo, aplicação de insumos e tratos culturais, pois é necessário colher o fruto com características físicas e morfológicas padrão (PUIATTI, *et al.*, 2010). O tomate tende a ser uma das hortaliças mais consumidas e aceitas nos mercados, isso se deve por ele possuir um amplo uso gastronômico, por ser fonte de licopeno na alimentação humana, possuir ação preventiva de doenças degenerativas e tumorais, ser fonte de vitamina A e C, além de sais minerais como potássio e magnésio (PÉDO, *et al.*, 2022). Além de funções nutricionais básicas, o tomate possui moléculas bioativas benéficas à saúde, auxiliares no controle de doenças cardiovasculares e da desintoxicação de radicais livres, propriedades decorrentes da presença do licopeno, um antioxidante carotenoide (SILVIA, *et al.*, 2017).

Com a demanda crescente para a produção de alimentos, o desenvolvimento de materiais mais tolerantes a pragas, doenças e aos fatores ambientais adversos (PRATAP, *et al.*, 2019). A possibilidade de utilizar de tecnologias na aplicação de técnicas de melhoramento genético (SOUZA, 2022), juntamente com boas práticas culturais e uso de recursos tecnológicos, pode garantir bons resultados na produtividade do tomateiro, hortaliça de valor econômico e cultural.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção de imagens e criação de modelo

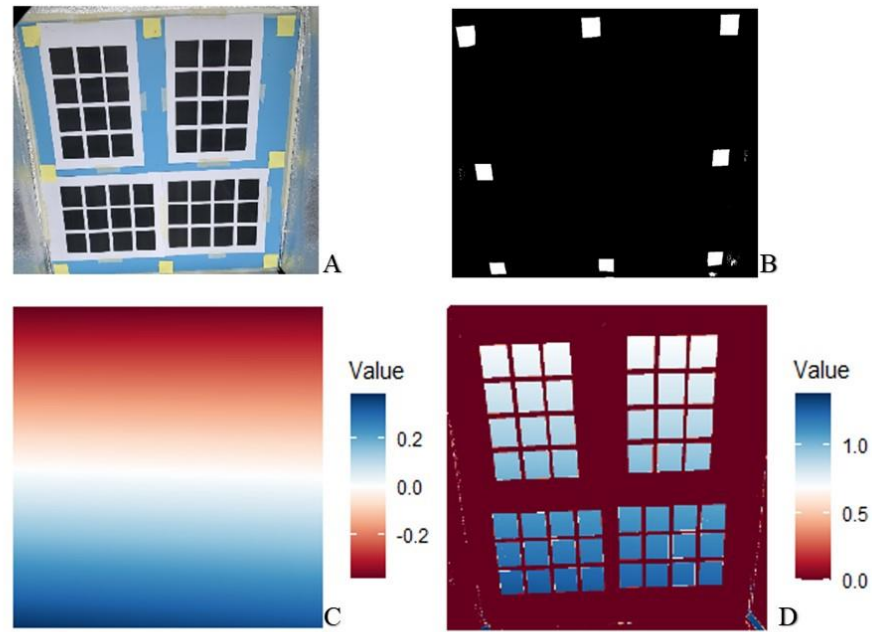
Para a obtenção de imagens foi utilizado um estúdio fotográfico com a dimensão de 60 x 60 x 60 centímetros e câmera de um smartphone Iphone®, modelo XR. Inicialmente foi impressa em folha A4 (21 x 29,7 centímetros) 12 quadrados de dimensão 4 x 4 cm de cor preta. Quatro dessas folhas foram colocadas no interior do estúdio (FIGURA 1a). Adicionalmente, utilizou-se oito folhas quadradas amarelas de dimensão 3 x 3 cm. Foram utilizadas como objeto de referência para corrigir as distorções das imagens, conforme demonstrado na Figura 1a.

Figura 1 - Estúdio para aquisição das imagens com iluminação artificial com lâmpada fluorescente



Fonte: Da autora, 2023.

Figura 2 – Imagem obtida em um estúdio antes (a) e após (b) a segmentação, e o coeficiente de correção da área obtida por pixel para todo o estúdio (c) e para objetos de interesse (d).



Fonte: Da autora, 2023.

Após a montagem do estúdio e a obtenção das imagens a serem fotografadas, foram obtidas 40 imagens com diferentes inclinações da câmera. Para cada imagem, a angulação foi anotada por meio de um giroscópio com auxílio do aplicativo Nível de bolha[®]. Dessa forma, diferentes distorções de área dos objetos foram obtidas.

Para a análise das imagens utilizou-se o pacote ExpImage do Software R. As imagens originais (FIGURA 2a) foram segmentadas, por meio de função *segmentation logit*. Esta metodologia foi utilizada para identificar na imagem os *pixels* correspondentes ao objeto de referência (FIGURA 3a) e os não correspondentes ao objeto de referência (FIGURA 3b). Após a segmentação houve a obtenção de imagens como as apresentadas na Figura 2b, a partir das quais serão obtidos os tamanhos em *pixel* e suas coordenadas.

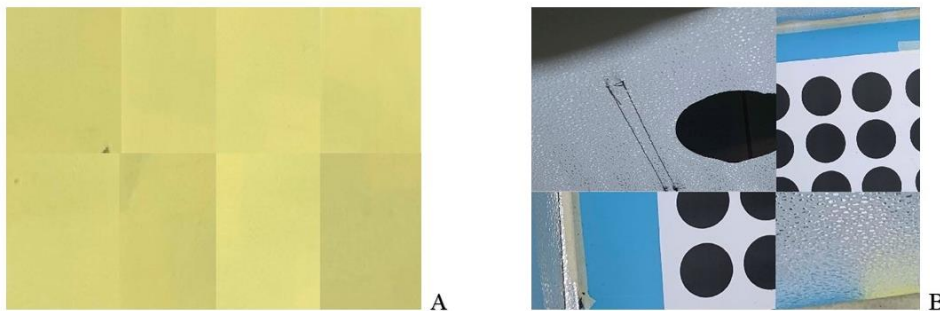
Assim, após determinar o tamanho dos objetos e suas posições, um modelo de regressão múltipla foi utilizado para o ajuste em cada imagem. Com isso, objetivou-se obter um fator de correção a partir da coordenada. Para isso, considerou-se o modelo:

$$Z_i = a + bx_i + cy_i + dx_iy_i + e_i$$

Onde:

- Z_i é a área observada no objeto de referência;
- a é o intercepto;
- b é o coeficiente linear da linha correspondente ao centro do objeto;
- x_i é o número da linha correspondente ao centro do objeto;
- c é o coeficiente linear associado à coluna correspondente ao centro do objeto;
- y_i é a coluna correspondente ao centro do objeto,
- D é o coeficiente de interação entre a linha e coluna do centro do objeto;
- e_i é o erro experimental.

Figura 3 - Paleta de cores para identificar na imagem os pixels correspondentes ao objeto de referência (a) e ao restante da imagem (b).



Fonte: Da autora, 2023.

Após o ajuste do modelo considerado, estimou-se o valor a ser utilizado como coeficiente de correção para cada *pixel* corresponde à FIGURA 2c. A partir destes coeficientes foi possível estimar o valor da correção para os objetos de interesse (FIGURA 2d). Para cada objeto, estes valores foram somados e utilizados como correção para a estimação da área de cada objeto. Os algoritmos criados para esta correção são apresentados no ANEXO 1. Desta forma se tornou possível a obtenção da área real e a resultante da análise de imagem antes após a correção. A partir destes valores, foram estimados o coeficiente de variação e o erro quadrático médio, destinados a verificar a eficiência da metodologia.

3.2 Instalação de experimento com a cultura do tomate

O estudo foi conduzido na fazenda experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro (FEHAN) no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) - UFMG, localizada no Campus Regional Montes Claros, (coordenadas: 16°40'58.16"S e 43°50'20.15"O). O período de condução do experimento ocorreu entre 2021 a 2022.

Sementes de cinco genitores (San Marzano – da empresa Isla®, Santa Clara – da empresa Top Seed®, Gaúcho – da empresa Top Seed®, Santa Cruz Kada gigante – da empresa Feltrin® e Gaúcho Melhorado Nova Seleção Feltrin®) e 10 combinações híbridas foram semeadas em bandejas de isopor de 128 células contendo substrato comercial para hortaliças e conduzidas até o transplantio como recomendado por ANTÔNIO & ALMEIDA (2018) semeando-se três sementes por célula. Após 15 dias da germinação das sementes foi realizado o desbaste, deixando uma plântula por célula, sendo esta a que apresentou melhores condições fisiológicas e nutricionais. Quando as plântulas apresentaram quatro folhas definitivas, em aproximadamente 45 dias, foram transplantadas para o campo.

As plantas foram tutoradas, conduzidas em duas hastes, eliminando-se todas as brotações axiais da planta semanalmente. A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo e as recomendações para a cultura do tomateiro, utilizando-se como referência FURLANI & BATAGLIA (2018). A irrigação foi realizada diariamente por gotejamento e o monitoramento fitossanitário sempre que necessário, este foi realizado com produtos registrados para a cultura, sendo realizada a retirada de plantas invasoras e aplicação de inseticidas e fungicidas para controle de possíveis agentes patogênicos.

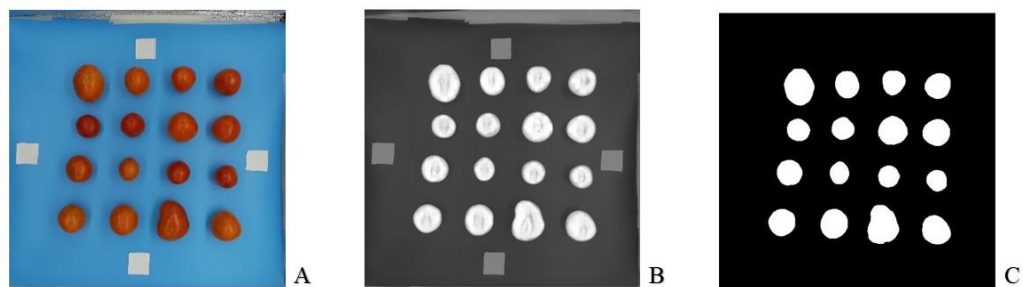
A colheita manual iniciou-se 90 dias após o plantio. Os frutos do tomateiro foram avaliados durante doze colheitas. Os frutos em estágio de maturação, na cor vermelho, eram colhidos duas vezes por semana. As avaliações foram realizadas em laboratório onde foram obtido de peso, diâmetro e comprimento dos frutos do tomateiro com o auxílio de uma balança de precisão e paquímetro respectivamente, sendo anotado os valores obtidos e tabulado posteriormente.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, 15 tratamentos (cinco linhagens e 10 híbridos) e cinco plantas por parcela, totalizando 300 plantas. Os vegetais foram dispostos em 10 linhas de plantio (canteiros), com espaçamento entre linhas de 2 metros e entre plantas dentro da parcela de 0,70 m e entre parcelas de 1 m.

3.3 Ajuste para a estimação do peso do fruto a partir da imagem

Para o ajuste do peso do fruto a partir da imagem utilizou-se o estúdio e a câmera anteriormente descritos. Assim, foram obtidas imagens (FIGURA 4a) de 200 frutos coletados aleatoriamente nas cinco linhagens e 10 híbridos. Cada uma dessas imagens foi segmentada com auxílio da função *grayscale* considerando o índice $HI=(2*R-G-B)/(G-B)$ (FIGURA 4b). A segmentação foi obtida utilizando-se a função *segmentation* considerando o *threshold* de 0,7 (FIGURA 4c).

Figura 4 - Imagem original (a) em escalas de cinza (b) e segmentada (c) para o ajuste de um modelo de regressão para a estimação do peso do fruto a partir do número de *pixels*.



Fonte: Da autora, 2023.

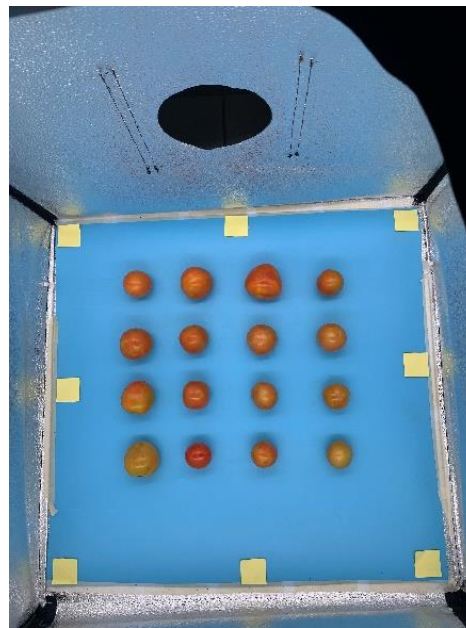
A partir da imagem segmentada, se tornou possível a obtenção do número de *pixels* de cada fruto. O número de *pixels* de cada fruto foi então utilizado como variável explicativa em modelo de regressão polinomial de primeiro grau, e como variável resposta foi considerado o peso do fruto. Verificou-se a qualidade do ajuste por meio do coeficiente de determinação e significância dos coeficientes de regressão.

3.4 Validação do modelo de correção para os frutos de tomate

Para a validação da metodologia, foram obtidas 10 imagens de 16 frutos em diferentes angulações (FIGURA 5). Desta forma, obteve-se a área observada em *pixel* dos frutos, recorrendo-se à metodologia descrita anteriormente e a área corrigida, com o auxílio dos objetos

de referência utilizados. As áreas em *pixel* foram utilizadas para estimação do peso do fruto a partir do modelo de regressão ajustado anteriormente. Desta forma obtendo o peso do fruto real através da balança de precisão, o peso estimado e o estimado corrigido. A partir destas medidas estimou-se o coeficiente de determinação e o erro quadrático médio para verificar a qualidade do ajuste.

Figura 5 - Exemplo de uma imagem obtida com os frutos de tomate para validar a metodologia para a correção de distorção na imagem ocasionada pela inclinação da câmera.



Fonte: Da autora, 2023.

4. RESULTADOS

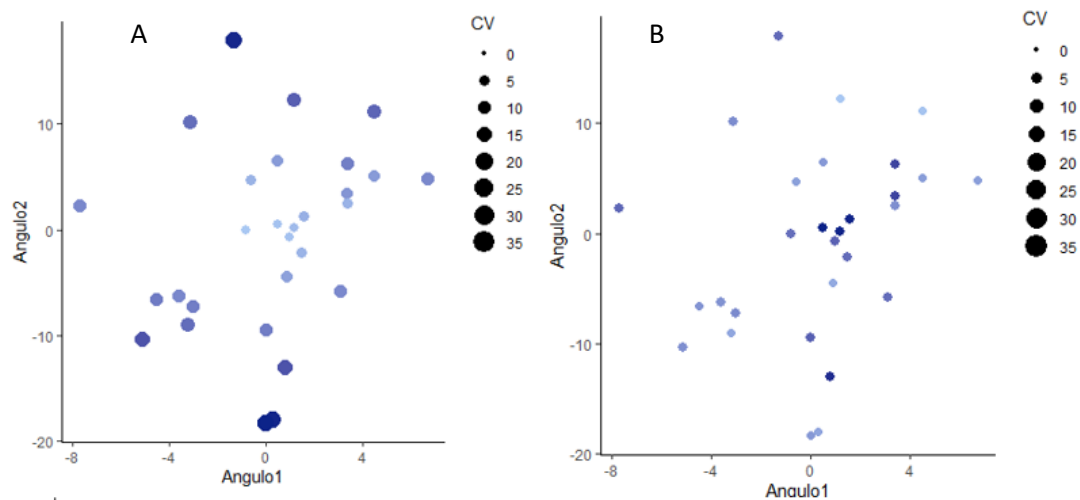
4.1 Validação do método de correção para os frutos de tomate

Na figura 6a é observado uma grande variação do coeficiente de variação (CV), havendo estimativas maiores nas extremidades e menores no centro. Esta variação ocorreu em função da angulação da câmera, uma vez que os objetos mensurados tinham o mesmo tamanho (Figura 6a). Já após a correção da imagem por meio do modelo de regressão ajustado, foi possível obter

uniformidade nas estimativas de CV (Figura 6b). Isto é um indicativo da eficiência da metodologia de correção utilizada.

O CV consiste numa medida estatística usada para avaliar a variabilidade relativa em relação à média de um conjunto de dados. Já o EQM (Figura 6b e 6c) quantifica a média dos quadrados dos erros ou resíduos, que são as diferenças entre os valores estimados e os valores reais.

Na figura 6c verificamos o mesmo padrão ocorrido para o CV, com estimativas maiores nas extremidades e menores no centro. E após o uso do algoritmo de correção, houve proximidade dos valores de EQM (FIGURA 6d).



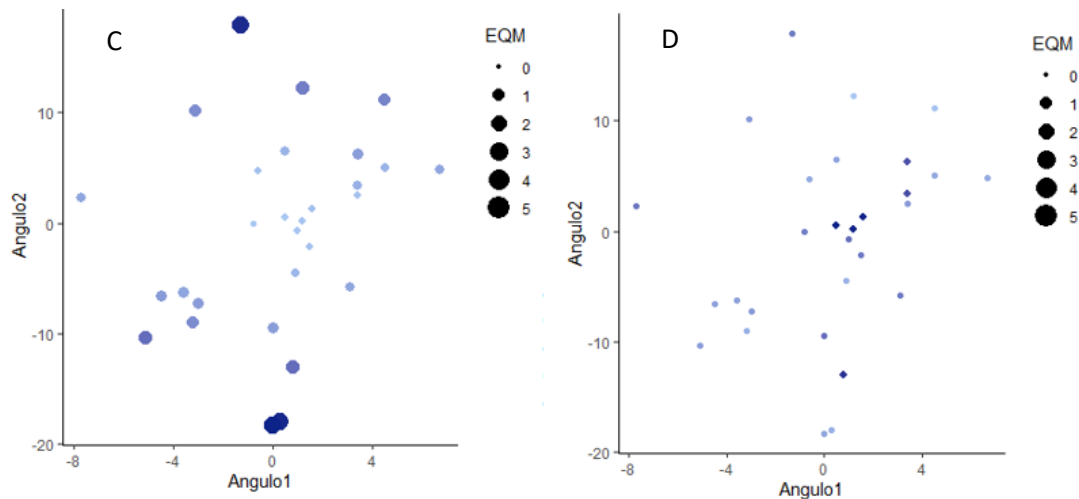


Figura 6. Estimativa do coeficiente de variação da área de objetos obtidas por análise de imagens antes (A) e após a correção (B) e erro quadrático médio (EQM) antes (C) e após (D) a correção em função de diferentes angulações da câmera.

Fonte: Da autora, 2023.

4.2 Análise de regressão para estimar o peso do fruto através da área observada

A partir dos resultados obtidos na análise de regressão, temos que os valores encontrados para peso dos frutos podem ser explicados a partir da área em cm^2 da imagem ocupada pelos frutos (Figura 7). Foi encontrado o coeficiente de determinação (r^2) com a estimativa de 0,858. O r^2 indica a qualidade do ajuste sendo que quanto mais próximo de 1 melhor.

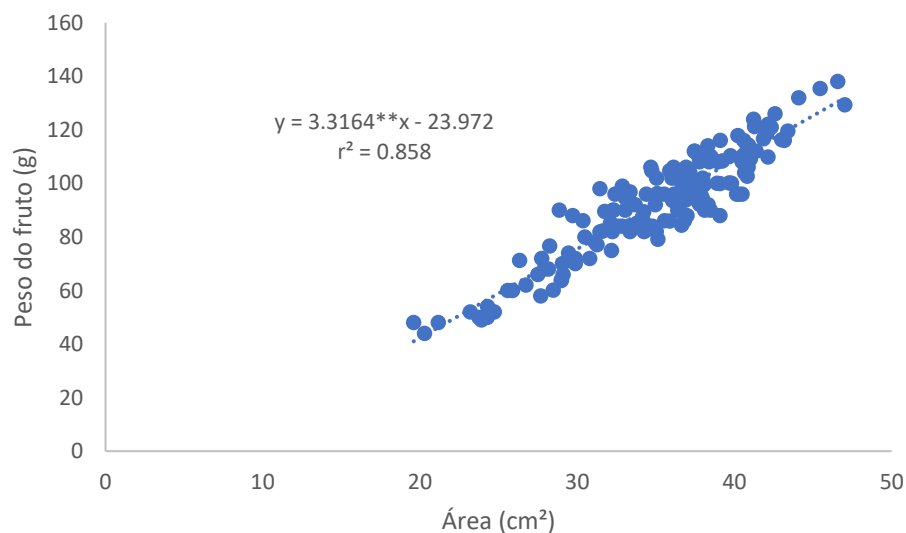


Figura 7. Regressão para a estimativa do peso de frutos do tomateiro em função de sua área estimada por meio da análise computacional de imagens.

4.3. Estimativa do erro quadrático médio para o peso estimado do fruto antes e após a correção

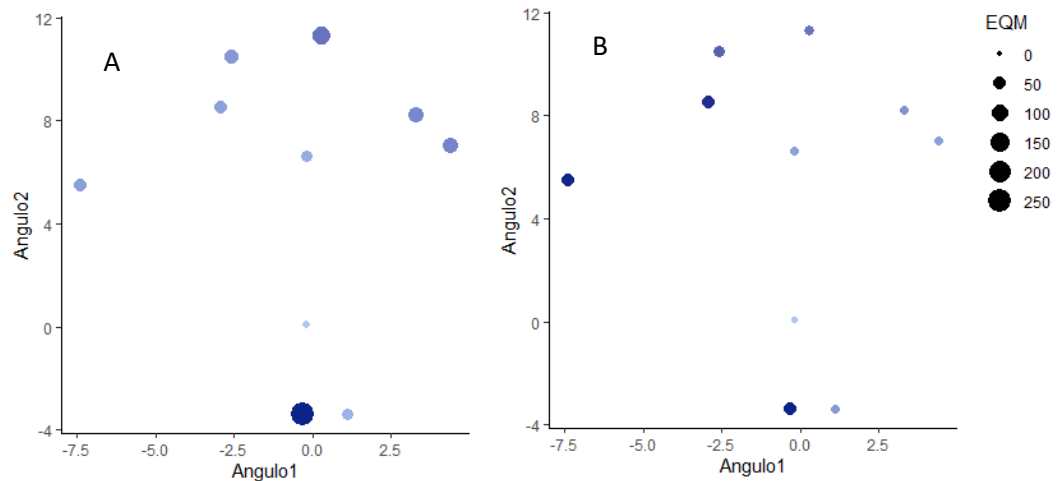


Figura 8. Estimativa do erro quadrático médio (EQM) antes (a) e após (b) a correção no peso de frutos de tomateiro em função de diferentes angulações da câmera.

Na figura 8 também pode ser verificado a eficiência do ajuste para a estimativa do peso dos frutos. Pois, nas imagens originais (Figura 8a) houve elevadas estimativas de EQM nas extremidades, em função da maior distorção ocasionada pelas angulações da câmera.

5. DISCUSSÃO

A fenotipagem refere-se à mensuração e descrição quantitativa das características fenotípicas das espécies vegetais. Com o avanço dos estudos e aplicações de pesquisas voltados para a análise de imagens é possível essa avaliação, tornando os sistemas precisos e imparciais, além de permitir a avaliação de forma não destrutiva da planta (FERNANDES, 2022). Além disso, possibilita uma análise futura, pois permite o armazenamento de imagens contendo informações relevantes em bancos de dados (ELICEIRI et al., 2012). Porém, no processo de obtenção de imagens podem ocorrer distorções que podem ser causadas por diversos fatores, como luminosidade, incidência de nuvens e sombreamento (CASAGRANDE, 2019), o que leva a alteração e imprecisão nos resultados obtidos nas análises fenotípicas. Dessa forma,

estudos com o desenvolvimento de metodologias que permitam a correção de distorções é de suma importância para a avaliação dos fenotípica das populações.

Para a metodologia desenvolvida, foi possível observar maiores estimativas de coeficiente de variação (CV), bem como maiores erros quadráticos médios (EQM) nas extremidades das imagens antes da correção (**Figura 6-a, Figura 6-c**), o que é consequência das distorções da imagem devido às angulações da câmera. Problemas de distorção de imagens também tem sido relatado na detecção de flores e frutos de morango (CHEN *et al.*, 2019), na avaliação da emergência de plantas de algodão (FENG *et al.*, 2020) e estimação da densidade de pessoas em imagens de drones (LIU *et al.*, 2019).

Após a correção das distorções por meio da metodologia proposta neste artigo, o CV e EQM ficaram com magnitudes parecidas (**Figura 6b, Figura 6d**), o que indica eficiência da metodologia. O uso da correção da distorção também foi utilizado para a avaliação da emergência do algodão (GENG *et al.*, 2020) em imagens obtidas por drones. Neste caso, a correção foi corrigida considerando o critério de máxima verossimilhança.

Além disso, a metodologia desenvolvida conseguiu obter de forma eficiente ($r^2=0,858$) o peso dos frutos de tomate através da imagem (pixels) (**Figura 7**). Essa capacidade de predição do peso pela análise de imagens parte do princípio que uma imagem é composta por um conjunto de pixels que representam uma matriz de valores (x,y) (PELT, SETHIAN, 2018). Nesse sentido, a área ocupada pelo fruto refere-se a um número específico de pixels, sendo possível prever o seu peso. Resultado parecido foi obtido por FERNANDES (2022) ao estimar o peso de raízes de batata-doce por meio da análise de imagens.

Na figura 8 também foi verificada a eficiência do uso da metodologia de correção, pois após o uso da correção obteve-se menor EQM na estimação do peso do fruto, independente da distorção da imagem provocada pela angulação da câmera. Dessa forma, a utilização da fenotipagem de alta eficiência por meio da análise de imagens, utilizando o método de correção de distorções, garante uma maior eficácia e precisão quanto a obtenção de valores estimados na produção e produtividade das culturas e áreas de aplicação. Isto amplia o uso da análise de imagens, pois possibilita a obtenção de imagens no campo e correção da distorção ocasionada pela angulação da câmera.

6. CONCLUSÃO

A aplicação da análise de imagens é útil para a estimação do peso de frutos de tomate. A metodologia de correção das distorções das imagens garante resultados mais precisos na estimação da área e peso de frutos.

7. REFERÊNCIAS

ANTÔNIO, A. C.; ALMEIDA, V. S. Produção de Mudas e Preáro do Solo. In: NICK, C.; SILVA, D.; BORÉM, A. Tomate: do palntio à colheita. **Editora UFV**, Viçosa MG , p. 33-46, 2018. Acesso em 13 dez. 2023

ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Fenotipagem de alto rendimento no campo: a nova fronteira de melhoramento da cultura. **Trends in Plant Science**, Barcelona, v. 19, n. 1, p. 52-61, jan. 2014. Disponível em: Fenotipagem em campo: a nova fronteira do melhoramento genético - ScienceDirect. Acesso em: 14 maio 2023

BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, Curitiba v.39, n.1, p.15-24, jun. 2016. Disponível em: Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas | Revista de Ciências Agrárias (rcaap.pt). Acesso em: 13 abr. 2023

CASAGRANDE, Cleiton Renato. Associação entre fenotipagem de alto rendimento do dossel e produtividade em soja. 2019. 50f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28709> Acesso em: 03 nov 2023

CHEN, Y.; CHAO, K.; KIM, M. S. Machine vision technology for agricultural applications. *Computers and electronics in Agriculture*, v. 36, n. 2, p. 173-191, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00100-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00100-X) Acesso em: 13 dez. 2023

CHEN, Y., SUK LEE, V., GAN, H., PERES, N., FRAISSE, C., ZHANG, Y., ELE, Y. Strawberry Yield Prediction Based on a Deep Neural Network Using High-Resolution Aerial Orthoimaging. **Remote sensing in Agriculture and Vegetation**, China, v. 11, n. 13, p. 1584, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11131584>. Acesso em: 27 nov. 2023

DELL' AQUILA, A. Tecnologia de imagem digital aplicada ao teste de germinação de sementes. **Uma revisão. Agron. Sustentar. Dev.** Bari, Itália, v 29, n. 1, p. 213-221, mar. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/agro:2008039> Acesso em: 14 dez. 2023

ELICEIRI, K.W.; BERTHOLD, M.R.; GOLDBERG, I.G.; IBÁÑEZ, L.; MANJUNATH, B.S.; MARTONE, M.E.; MURPHY, R.F.; PENG, H.; PLANT, A.L.; ROYSAM, B.; STUURMAN,

N.; SWEDLOW, J.R.; TOMANCAK, P. E CARPENTER, A.E. Biological imaging software tools. *Nature Methods*, v. 9, n. 7, p. 697-710, 2012. Disponível em: Ferramentas de software de imagem biológica | Métodos da Natureza Acesso em: 01 nov.2023

FENG, A., ZHOU, J., VORIES, E. D., SUDDUTH, K. A., ZHANG, M. Estimativa da produtividade em algodoeiro utilizando imagens multissensoriais baseada em VANT. **Biosystems engineering**, Columbia EUA, v. 193, n. 1, p. 101-114, mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.014>. Acesso em: 28 nov. 2023

FERNANDES, A. **Fenotipagem de alta eficiência no melhoramento genético da batata-doce por análise computacional de imagens**. 2022.68 f. Tese Doutorado em Produção Vegetal – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes claros, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/49258> Acesso em: 01 nov.2023

FERNANDES, ACG; VALADARES, NR; RODRIGUES, CHO; ALVES, RA; GUEDES, LLM; MAGALHÃES, JR; SILVA, RB; GOMES, LSP; AZEVEDO, AM. 2022. **Feasibility of computational vision in the genetic improvement of sweet potato root production**.

FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C. Correção do Solo e Adubação.In: NICK, C.; SILVA, D.; BOREM, A. Tomate: do plantio a Colheita. **Editora UFV**, Viçosa MG, p. 47 a 84, 2018 GERSZBERG, A., HNATUSZKO-KONKA, K., KOWALCZYK, T. et al. Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a serviço da biotecnologia. **Plant Cell Tiss Órgão Cult 120, Lodz, Polônia** p. 881–902, mar. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>

GERSZBERG, A., HNATUSZKO-KONKA, K., KOWALCZYK, T., KONONOWICZ, A. K. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. Lodz, Poland, v. 120, n. 1, p. 881-902, mar. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>. Acesso em 28 nov. 2023

Horticultura Brasileira 40: 378-383. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-20220405> Acesso em: 07 nov. 2023

GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S.; VILLAS-BÔAS, L.; BACKES, C.; LIMA, C. P. Uso da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pera”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n. 3, p. 420-424, dez.2007. Disponível em: SciELO - Brasil - Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "Pêra" Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "Pêra". Acesso em: 20 abr. 2023

GONZALEZ, R.; C.; WOODS, R.; E. **Processamento de imagens digitais**. Tradução; Roberto Marcondes Cesar Junior, Luciano da Fontoura Costa. São Paulo, Editora: Blucher. ISBN:978-85-212-0264-7, 2013.

GUERRERO, N. R.; QUINTERO, M. A. O.; NARANJO, J. C. P. **Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional**. Revista Facultad Nacional de Agronomía- Medellín, v. 65, n. 1, p. 6399-6405, 2012. Disponível em: Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional (scielo.org.co). Acesso em: 12 mar. 2023

KWIATKOWSKA, D.; DUMAIS, J. Growth and morphogenesis at the vegetative shoot apex of *Anagallis arvensis* L., **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 387p.1585-1595, jun. 2003. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/54/387/1585/540348?login=false>. Acesso em: 19 maio 2023

LI, L.; ZHANG, Q.; HUANG, D. A Review of imaging techniques for plant phenotyping. **Sensores**, Xangai, v. 14, n. 11, p. 20078-20111, out. 2014. Disponível em: Sensores | Texto Completo Grátis | Uma Revisão das Técnicas de Imagem para Fenotipagem de Plantas (mdpi.com). Acesso em :14 maio 2023

LIU, X., HE, P., CHEN, W., GAO, J. Improving Multi-Task Deep Neural Networks via Knowledge Distillation for Natural Language Understanding. **CORNELL UNIVERSITY- Computação e linguagem**, v.1, 20 abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.09482> Acesso em: 28 nov. 2023.

NICK, C. *et al.*, **Tomate do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2018.

OLAS, J. J.; FICHTNER, F.; APELT, F. All roads lead to growth: imaging-based and biochemical methods to measure plant growth, **Journal of Experimental Botany**, Germany, v. 71, n. 1, p. 11-21, jan. 2020. Acesso em: 16 maio 2023

PEDÓ, T.; ROLIM, J. M.; MEDEIROS, L. B.; PETER, M.; PEREIRA, L. H. S.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; MAUCH, C. R. Produção de mudas de tomate enxertado no Sul do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Pelotas, v. 27, n. 1, p. e2331272022, maio 2022. Disponível em: <https://pap.emnuvens.com.br/pap/article/view/233>. Acesso em: 20 abr. 2023

PELT, D. M., SETHIAN, J. A. A Dense Mixed-Scale Convolutional Neural Network for Image Analysis. **PNAS- Anais da academia nacional de ciências**, Berkeley, CA, v.115, n. 2, p. 115, 9 jan. 2018. Disponível em: [Uma rede neural convolucional densa de escala mista para análise de imagens | PNAS](#) Acesso em: 28 nov. 2023

PUIATTI, M. *et al.*, **Fisiologia do desenvolvimento do tomateiro-Tomate**. Vitória, Editora Incaper. 2010. cap. 4, p. 85-119. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/865552/1/2010011.pdf>. Acesso em: 16 maio 2023

PRATAP, A.; GUPTA, S.; NAIR, R. M.; GUPTA, S. K.; SCHAFLEITNER, R.; BASU, P.S.; SINGH, C. M.; PRAJAPATI, U.; GUPTA, A.K.; NAYYAR, H.; MISHRA, A. K.; Baek, K-H. Using Plant Phenomics to Exploit the Gains of Genomics. **Agronomy**, Índia v. 9, n. 3, p. 126, mar. 2019. Disponível em: Agronomia | Texto Completo Grátis | Usando a Fenômica Vegetal para Explorar os Ganhos da Genômica (mdpi.com). Acesso em: 14 maio 2023

ROCHA, C. R. M.; SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.6, p.970-976, jun. 2015. Disponível em: SciELO - Brasil - Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. Acesso em: 05 jul. 2023

RODRIGUES, R. Analysis and themes of photographic images. **Ciência da informação**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 67-76, dez 2015. Disponível em: SciELO - Brasil - Análise e tematização da imagem fotográfica Análise e tematização da imagem fotográfica. Acesso em: 12 jul 2023

SILVA, V.; DOTTO, L. Análise de imagens para a avaliação do crescimento de plântulas de arroz. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 4, n. 07, 2017. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5108>. Acesso em: 13 abr. 2023

SOUSA, C. A. F.; CUNHA, B. A. D. B.; MARTINS, P. K.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; SOUZA JUNIOR, M. T. New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives, **Revista Brasileira de Geografia Física**. Brasília, V. 08, n. IV SMUD (2015) p. 660-672. Disponível em: researchgate.net/profile/Hugo-Molinari-2/publication/287805014_New_approach_for_plant_phenotyping_concepts_current_tools_and_perspectives/links/567c6d5308aebccc4e01207a/New-approach-for-plant-phenotyping-concepts-current-tools-and-perspectives.pdf. Acesso em: 12 maio 2023

SOUZA, C. A. F.; CUNHA, B. A. D. B.; MARTINS, P. K.; CORREA, H. B.; MOLINARI, A. K. K.; SOUZA JUNIOR, M. T. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Brasília v. 8, n. IV SMUD, p. 660-672, dez. 2015. Acesso em: 07 maio 2023

SOUZA, J. **Fenotipagem para resistência à mancha bacteriana em tomateiro (*Solanum***

lycopersicum L.).2022. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-03012023-155103/publico/Jessica_Eliana_Nogueira_de_Souza.pdf. Acesso em: 16 maio 2023

TEIXEIRA, F. M. V.; Tomate: Pré-produção. **Embrapa**, Anápolis fev. 2022, Disponível em: Tomate - Portal Embrapa. Acesso em: 20 abr. 2023

UBBENS, J. R.; STAVNESS, I. **Deep plant phenomics: a deep learning platform for complex plant phenotyping tasks. Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1190, 2017. (Disponível em: Fronteiras | Deep Plant Phenomics: Uma Plataforma de Aprendizado Profundo para Tarefas Complexas de Fenotipagem de Plantas (frontiersin.org) Acesso em: 01 nov. 2023

WANNENG, Y.; FENG, H.; ZHANG, X.; ZHANG, J.; DOONAN, J. H.; BATCHELOR, G. D.; XIONG, L.; JIANBING, Y. **Fenomia agrícola e fenotipagem de alto rendimento: Décadas passadas, desafios atuais e perspectivas futuras. Molecular Plant, China**, v. 13, n. 2, p. 187-214, fev. 2020. Acesso em: 14 maio 2023

ANEXO 1

Algoritmo do R criado para a correção da distorção:

```
library(ExpImage)
setwd_script()
Amarelo=read_image("PaletaAmarelo.jpg",plot=T)
Sem_Amarelo=read_image("Fundo.jpg",plot=T)
modelo=segmentation_logit(im=Sem_Amarelo,foreground = Amarelo,background = Sem_Amarelo,return =
"model")

nomes=list.files(pattern = "IMG_+")

RESULTref=RESULTobj=NULL
for(j in 1:length(nomes) ){
im=readImage(nomes[j])
im=resize_image(im,p=30,plot=T)

maskRef=predict_logit(im,modelo,plot=F)
im2=crop_image(im,segmentation = erode_image(maskRef,plot=F),plot=T)
maskRef2=predict_logit(im2,modelo)

mmed=measure_image(maskRef2,plot=F,imOut = T)
med=mmed$measures

med2=data.frame(med[order(-med[,3]),][1:8,1:3])
med2=cbind(med2,desvio=1-(med2[,3]/mean(med2[,3])))

m=lm(desvio~x+y+x:y,data=med2)
summary(m)

newData=expand.grid(x=1:info_image(im2)$Length[1],y=1:info_image(im2)$Length[2])
pred=predict(m,newdata=newData)
Corr=matrix(pred,info_image(im2)$Length[1],info_image(im2)$Length[2])
# plot_image(Corr,col=3)
CorrectRef=(maskRef2+Corr)*maskRef2
# plot_image(CorrectRef,col=3)

res=NULL
for(i in unique(c(mmed$imOut))[-1]){
res=rbind(res,c(measure_image(mmed$imOut==i,plot=F)$measures[1:3],sum(CorrectRef[mmed$imOut==i])))
}
ResultadoReferencia=res[order(-res[,3]),][1:8,]

MaskObj=segmentation(gray_scale(im2,method = "SI"),fillHull = TRUE,threshold =0.75,selectHigher =
T,plot=T)
CorrectObj=(MaskObj+Corr)*MaskObj
# plot_image(CorrectObj,col=3)
mmed=measure_image(MaskObj,noise = 100,plot=F,imOut = T)
res=NULL
for(i in unique(c(mmed$imOut))[-1]){
res=rbind(res,c(measure_image(mmed$imOut==i,plot =
F)$measures[1:3],sum(CorrectObj[mmed$imOut==i])))
```

```

}
ResultadoObj=res[order(-res[,3]),][1:16,]

jpeg(paste0("id_",nomes[j]))
plot(im2)
text(ResultadoObj[,1],ResultadoObj[,2],1:16)
dev.off()

RESULTref=rbind(RESULTref,cbind(nomes[j],ResultadoReferencia))
RESULTobj=rbind(RESULTobj,cbind(nomes[j],ResultadoObj))
}

write.table(RESULTref,"CorrecaoReferencia.txt",sep="\t")
write.table(RESULTobj,"CorrecaoObj.txt",sep="\t")

```