

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**FABIANA CAMPOS RESENDE**

**ANÁLISE DO USO DE APLICATIVOS NA DETERMINAÇÃO DE ÁREA FOLIAR  
DE DIFERENTES ESPÉCIES**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2022**

**FABIANA CAMPOS RESENDE**

**ANÁLISE DO USO DE APLICATIVOS NA DETERMINAÇÃO DE ÁREA FOLIAR  
DE DIFERENTES ESPÉCIES**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: André Luiz de Freitas Coelho

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2022**

**FABIANA CAMPOS RESENDE**

**ANÁLISE DO USO DE APLICATIVOS NA DETERMINAÇÃO DE ÁREA FOLIAR  
DE DIFERENTES ESPÉCIES**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 28 de julho de 2022.

Assentimento:

*Fabiana Campos Resende*  
\_\_\_\_\_  
Fabiana Campos Resende  
Autora

*André Luiz de Freitas Coelho*  
\_\_\_\_\_  
André Luiz de Freitas Coelho  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e me manter resiliente para finalizar essa etapa, por um bom tempo eu acreditei que não seria capaz. A minha família por todo incentivo e apoio, por me amarem mesmo nos meus erros e nunca desistirem de mim. Mãe e pai vocês são o maior motivo para eu estar aqui. Dario, Ico e Elizete o apoio e confiança na minha capacidade fizeram toda diferença pra eu acreditar que conseguiria. Miguelzinho e Maria por tornarem minha vida mais feliz, me proporcionarem tantos sorrisos e um amor que eu não conhecia. Vó Zilda por sempre me colocar em suas orações e me receber com o abraço mais aconchegante do mundo

Agradeço ao Bruno pelo companheirismo, parceria e amor dedicado a mim, ele também está formando parte engenheiro. A Flavinha por estar perto sempre que eu preciso, pela cumplicidade e por todo apoio técnico. A república das Amadas por anos tão bons juntas. Ao meu time de basquete da LUVE por me apresentar as melhores amigas de Viçosa e proporcionar momentos e viagens inesquecíveis. Aos antigos amigos da EAA por me inspirarem. As minhas amigas de Lagoa por estarem sempre presentes, mesmo de longe. Por último agradeço a Isa por tornar o meu retorno ao curso e o EAD mais leve.

Agradeço a UFV e ao Departamento de Engenharia Agrícola por tantos ensinamentos e oportunidades. A toda banca por dedicarem o seu tempo para o desenvolvimento desse trabalho. Em especial, agradeço ao professor André pela confiança, suporte e disponibilidade de sempre, foi um prazer trabalhar com você. Ao pessoal do LMA que sempre foram tão receptivos e solícitos. Aos professores Alisson, João, Nicacio, Luis Cesar e José Márcio por me receberem tão bem de volta ao curso e me incentivarem a concluir essa etapa. Também ao professor Delly por me preparar tão bem para a área da pesquisa.

Por último agradeço a minha psicóloga Glaucia por me ajudar a sair da minha pior fase e enxergar meu lugar de mulher e toda minha potência.

É um prazer estar prestes a concluir essa etapa e ter a sensação de dever cumprido. Um sentimento de maravilhoso ter superado tantas dificuldades e chegar até aqui. Obrigada!

## RESUMO

RESENDE, Fabiana Campos, Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2022. **Análise do uso de aplicativos para determinação de área foliar de diferentes espécies.** Orientador: André Luiz de Freitas Coelho.

A área foliar é um importante parâmetro fisiológico em estudos de melhoramento genético e padronizar sua medição gera dados mais precisos e confiáveis para a análise desejada. Atualmente o método mais utilizado para medir a área foliar é o escaneamento da folha em estudo e o processamento da imagem no programa de computador *ImageJ*. Porém, a falta de acesso e portabilidade de um escâner e computador em condições de campo, inviabiliza a utilização dessa ferramenta computacional. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho analisar a exatidão, precisão e usabilidade de ferramentas computacionais para determinação de área foliar em diferentes espécies vegetais. Foram dispostas cinco folhas das espécies *Mangifera indica* (manga Ubá), *Coffea arábica* (café arábica), *Paspalum notatum* (grama batatais) e *Phaseolus vulgaris* (feijão) para a determinação da área foliar, sendo espécies de diferentes formatos, cor e textura. O dispositivo de captura de imagem utilizado para mensurar a área nos aplicativos foi a câmera de smartphones. Inicialmente avaliou-se a influência da resolução de escaneamento em relação ao erro na área foliar e concluiu-se que não tinha influência significativa. A usabilidade dos aplicativos foi avaliada por seis pessoas que testaram os mesmos. Os dados obtidos foram analisados através do Software R. Por meio dos resultados observou-se que existem aplicativos viáveis para o uso de medição de área foliar, porém a dimensão, cor e textura das folhas são características que influenciam na usabilidade e precisão destes aplicativos. De forma genérica, os aplicativos mostraram-se como uma boa solução na análise de imagens visando a determinação da área foliar *in situ*, sendo o *Petiole* o que apresentou maior precisão e usabilidade.

**Palavras-chave:** *Imagej*. Aplicativos para dispositivos móveis. Melhoramento genético. Processamento de imagens.

## ABSTRACT

RESENDE, Fabiana Campos, Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, July, 2022. **Analysis of application usage for leaf area determination of different species.** Adviser: André Luiz de Freitas Coelho.

Leaf area is an important physiological parameter in genetic improvement studies and standardizing its measuring yields more precise and reliable data for the desired analysis. Currently, the method that is more being utilized to measure the foliage area is scanning the leaf in study and processing the image in the ImageJ computer program. However, the lack of access to a scanner and computer and the fact that they are not easily portable in field conditions make this computerized tool unfeasible. In light of this, conducting this study aims to compare the exactness, precision, and usability of computational tools to determine the foliage area in different vegetable species. Five leaves, *Mangifera indica* (mango), *Coffea arábica* (Arabic coffee), *Paspalum notatum* (bahiagrass), and *Phaseolus vulgaris* (beans), were laid out in order to determine their leaf area, being species of different shapes, color and texture. The device used to capture images was the smartphone camera. Initially, the influence of the scanning resolution was evaluated in relation to the error in the leaf area and it was concluded that it had no significant influence. The applications' usability was tested by six people who tested them. The data obtained was illustrated by means of Software R. Through the results it was observed that there are viable applications for the use of leaf area measurement, but the dimension, color and texture of the leaves influence the usability and accuracy of these applications. In a generic sense, the applications proved to be a good solution in the analysis of images for the purpose of determining foliage area in situ, being that the Petiole yielded the greatest precision and usability.

**Key words:** ImageJ. Application for mobile devices. Genetic improvement. Image processing.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil está no ranking dos principais países produtores agropecuários do mundo. E mesmo dentro deste cenário, utilizamos apenas 9,2% (MAPA, 2021) da sua área para a agricultura. Em 2021, a soma de bens e serviços gerados no agronegócio chegou a R\$ 2,33 trilhões, ou seja, aproximadamente 27% do PIB brasileiro. Dentre os segmentos do agronegócio, a maior parcela é do ramo agrícola, que corresponde a 70% desse valor (R\$ 1,63 trilhão) (IBGE, 2022). Os resultados das projeções de grãos no Brasil, para os anos de 2030/2031 são de 333,1 milhões de toneladas, correspondendo a uma taxa de crescimento de 2,4% ao ano. Esses valores foram associados ao aumento da produtividade, concentrando-se em três fatores principais: redução de mão de obra ocupada; redução de área plantada devido aos ganhos de produtividade da terra e aumento do uso de capital (MAPA, 2021).

Entretanto, a imprevisibilidade climática aliada a ocorrências de resultados insatisfatórios são alguns dos principais riscos para a atividade agrícola, uma vez que podem acarretar em prejuízos econômicos (CUNHA e ASSAD, 2001). O desenvolvimento tecnológico da agricultura contribui para a redução destes riscos. A modernização da agricultura brasileira teve como um de seus pilares a pesquisa agropecuária, a ciência permitiu aumentar o potencial produtivo de áreas que não eram agricultáveis anteriormente (ALVES; CONTINI; GASQUES, 2008).

Referente à produtividade da lavoura, fatores ambientais tais como luz, clima, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade de água e nutrientes afetam vários índices fisiológicos das plantas, como por exemplo, a razão de área foliar e a taxa de crescimento. Conhecer a área foliar e estudar a eficiência do crescimento e da habilidade de adaptação de uma determinada espécie é fundamental para o melhoramento genético e, conseqüentemente para o desenvolvimento agrícola (PEIXOTO et al., 2006).

Na planta, a área foliar é de suma importância para a determinação de inúmeros parâmetros fisiológicos, especialmente relativos ao crescimento e desenvolvimento, como a intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar (REIS, 1979). O índice de área foliar (IAF) é definido como a razão entre a área foliar de uma planta ou população de plantas e a área de solo por ela ocupada. Em um trabalho sobre a estimativa do índice de área foliar em cafeeiros Favarin et al. (2002) relata que este índice é um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química. Gomide e Gomide (2001) e Martha Júnior et al. (2004) ressaltam a importância do índice de área foliar para o manejo das pastagens, pois

observando-se uma alta relação folha/haste significa que a forragem possui elevado teor de proteína. Favarin et al. (2002) descreve a importância de se conhecer a área foliar, além de apresentar argumentos sobre a variável ser indicativo de crescimento e produtividade da planta.

Existem múltiplos métodos de determinação da área foliar de uma espécie vegetal. Esses métodos podem ser divididos em destrutivos e não destrutivos. Dentre os métodos classificados como destrutivos, podem ser citados os discos foliares (SOUZA et al., 2019), planímetros automáticos (MEIRA et al., 2020) e gravimétricos (PEREIRA et al., 2020), dentre outros. O método LI-COR era padrão na estimativa da área foliar, em folíolos íntegros e danificados e apresentava vantagem de custo inferior e precisão similar a outros métodos destrutivos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Ainda podemos citar a mensuração da área foliar pelo *ImageJ*, dentro os métodos destrutivos.

Nos dias de hoje, o escaneamento da folha e o posterior processamento da imagem em softwares livres como *ImageJ*, são considerados os principais métodos para estimar a área foliar (SILVA et al., 2018; GUERRERO et al., 2012; DALMAGO et al., 2016; MARTIN et al., 2020). O *ImageJ*, que é uma ferramenta de análise e processamento de imagens, desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Mental Health, nos EUA, em linguagem Java. Possui uma arquitetura baseada em plugins, o que amplia suas possibilidades operacionais. Funciona nas plataformas Linux, MacOSX e também no Windows para 32 bits e 64 bits. Este programa está disponível gratuitamente, pois não necessita de licença para a sua utilização. O *ImageJ* atua na imagem pela intensidade ou nível de cinza dos pixels. Pode medir distâncias e ângulos, criar histogramas de densidade, suporta funções de processamento, tais como operações aritméticas e lógicas entre imagens, manipulação de contraste, nitidez, suavização, detecção de bordas, filtragem de mediana e zoom (PANTOJA et al., 2014). Esse software é usado para análise de imagens, tanto de fotos quanto de vídeos. Possui várias ferramentas que podem ter utilidade em diversas áreas de conhecimento. Um programa eficiente para executar as operações, permite a utilização de vários filtros, uma visualização de volume e ainda outras operações (PANTOJA et al., 2014).

Quanto aos métodos não destrutivos estão aqueles que avaliam dimensões foliares (TOEBE et al., 2019), por meio de modelos de regressão (EVERTHON et al., 2020) e pelas variáveis biométricas (EVANGELISTA et al., 2017). Em estudos, Guimarães et al (2019), descrevem o uso de modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca, caracterizando um método não destrutivo. A utilização desses modelos matemáticos também é descrita por (LEITE et al., 2019) como forma de estimar área foliar do milheto (*Pennisetum glaucum*) por métodos não destrutivos. Fernando e Margiotti (2018) utilizaram cálculos

automáticos para medir a área foliar da soja, em estudos que fazem a quantificação de danos por pragas e doenças na folha.

Atualmente percebe-se o uso cada vez mais constante e intenso da computação na agricultura. Da mesma forma com que ao longo dos anos a tecnologia vem sendo cada vez mais aplicada em todas as áreas da nossa vida, juntamente com o crescimento de processos que desenvolvem e aprimoram os recursos apresentados pela computação (MEGETO et al., 2020; CARLA CEOLIN et al., 2021; RODRIGUES et al., 2021). A agricultura digital é uma inovação tecnológica considerada hoje uma das ferramentas mais importantes e indispensáveis no agronegócio. Martin et al. (2020) compararam dois métodos de estimativa de área foliar por meio de fotografias digitais. O método tem a vantagem da rápida e fácil aplicação, devido à popularização de câmeras fotográficas digitais de alta resolução, dispositivos móveis e software para a análise. Porém, um dos métodos mais utilizados para medir a área foliar ainda é o escaneamento da folha em estudo e o processamento da imagem em softwares para análises de imagens (MARTIN et al., 2020), sendo ainda um método caracterizado como destrutivo.

Entretanto, muitas vezes, as condições de campo inviabilizam a utilização de determinadas metodologias, principalmente quanto ao uso de determinados artifícios tecnológicos (HOTT et al., 2017). Nesse contexto, podemos destacar a falta de acesso e portabilidade de um escâner e computador em condições de campo dificulta a utilização desse tipo de análise, o que inviabiliza trabalhar com tal método, como explica Meira et al. (2020). A partir da popularização da agricultura digital já encontramos aplicativos para dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, com função de medir área foliar vêm sendo desenvolvidos (MEGETO et al., 2020). Nesse contexto, podemos destacar o uso de alguns aplicativos como *Leaf Area* (DRIENOVSKY et al., 2017), *LeafByte* (GETMAN-PICKERING et al., 2020), *LeafIt* (SCHRADER et al., 2017a) e *Petiole* (SINGH et al., 2021).

Muitos aplicativos são disponibilizados gratuitamente, estes utilizam imagens digitais capturadas a partir de dispositivos móveis como smartphones ou tablets, como por exemplo *LeafByte*, que teve sua rapidez e precisão testadas por Getman-Pickering et al., 2020, *LeafArea*, que foi utilizado por Drienovsky et al., 2017, para determinação da área foliar de três diferentes espécies vegetais, (SCHRADER et al., 2017) avaliaram a exatidão e precisão do *LeafIt* usando folhas reais e bem como objetos com área padronizada e comparou os resultados com o alguns softwares comerciais, *Petiole* foi testado quanto o efeito da altura de calibração no desempenho do aplicativo (SINGH; KUMAR; SINGH, 2021 ).

O aplicativo *LeafArea* captura e analisa a imagem no sistema de cores RGB (*red*, *green* e *blue*), para fazer o reconhecimento da área superficial da folha. A interface do aplicativo faz

o reconhecimento dos *pixels* verdes como parte da folha e o fundo branco é lido como *pixels* vermelho. Para processar a imagem e mensurar a área, o aplicativo faz a contagem dos *pixels* verdes e exclui os vermelhos. O aplicativo foi desenvolvido em programação com código de linguagem Java (DRIENOVSKY et al., 2017).

Em relação ao aplicativo *LeafByte*, faz a separação da folha em estudo entre primeiro plano da imagem e plano de fundo - processo chamado *thresholding* – como também acontece no *ImageJ*. Cada pixel na imagem é considerado individualmente e quando uma medida de intensidade é percebida acima de um determinado valor de corte, o pixel será considerado em primeiro plano; caso contrário, torna-se plano de fundo. Na interface do aplicativo o limite é determinado automaticamente e apresenta-se eficaz, mas o *LeafByte* permite que os usuários ajustem conforme necessário. O *LeafByte* também suporta tecidos claros (como flores brancas) invertendo o processo, usa-se folhas claras em fundos escuros. *LeafByte* separa o primeiro plano do plano de fundo usando um algoritmo chamado método de *Otsu*. De forma geral, o funcionamento do método é encontrar uma lumens claros e escuros, distinguindo o primeiro plano e o plano de fundo. (GETMAN-PICKERING et al., 2020).

O *LeafIt* é um aplicativo gratuito, projetado para fins científicos e funciona em dispositivos móveis com sistema operacional Android. Ele usa um algoritmo de detecção de margem baseada em limites e isso torna o *LeafIt* diferente de outros softwares e aplicativos de área baseados na contagem de pixels para medição. É um aplicativo que funciona contra sombras indesejadas que podem interferir na medição da área (SCHRADER et al., 2017b).

O aplicativo *Petiole* funciona pelo método *Grid Count*, que consiste na contagem de pixels por área no sistema RGB, assim como acontece no *LeafByte*. Porém o algoritmo do *Petiole* funciona de forma mais direta, possuindo calibração própria e medindo a área foliar com apenas um toque (SINGH et al., 2021).

Dentre tantas opções, destaca-se a importância do conhecimento sobre a precisão, exatidão e usabilidade dessas ferramentas computacionais para a determinação da área foliar. Esse conhecimento é fundamental e subsidia a tomada de decisão referentes à escolha da ferramenta computacional mais adequada, de acordo com a espécie. De forma geral, não encontramos estudos que façam uma comparação entre as ferramentas já existentes.

Com esse trabalho objetivou-se comparar a exatidão, precisão e usabilidade dos aplicativos para determinação de área foliar em diferentes espécies. Primeiramente torna-se necessário avaliar a resolução de escaneamento mais adequada para a medição de área foliar e a influência da planificação das folhas na determinação da área. A partir disso, estimar a precisão e exatidão das ferramentas computacionais em folhas de diferentes tamanhos, texturas

e formatos; e ainda avaliar a funcionalidade e usabilidade dessas ferramentas computacionais para determinação de área foliar.

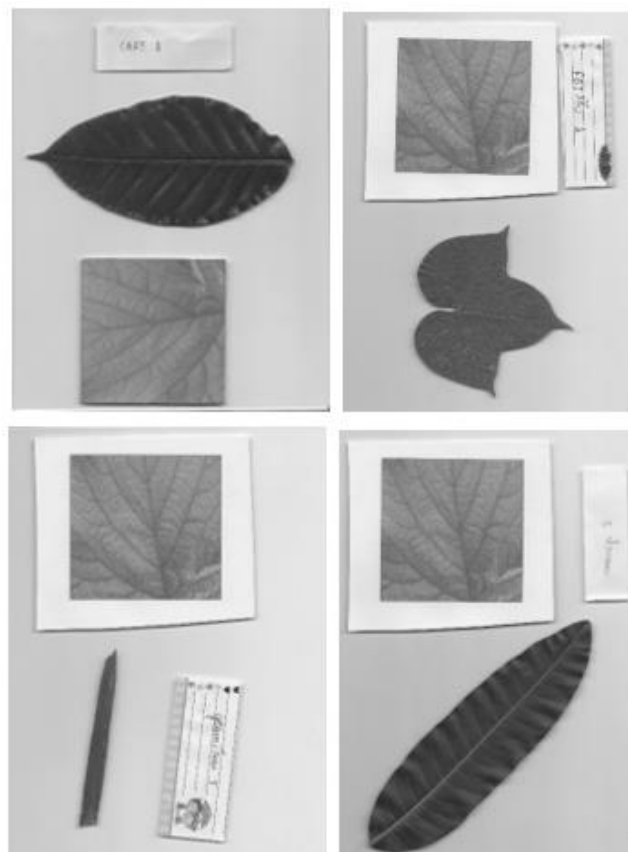
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Para a realização da pesquisa foram coletadas folhas de quatro espécies de plantas, sendo elas: *Mangifera indica* (manga Ubá), *Coffea arábica* (café arábica), *Paspalum notatum* (grama batatais) e *Phaseolus vulgaris* (feijão). Para cada espécie cinco folhas foram coletadas para a determinação de sua área.

Para medir a área foliar foram utilizadas seis ferramentas computacionais. A medida referência foi obtida no software *ImageJ* e foram comparadas com a área foliar medida pelos aplicativos *LeafArea*, *LeafByte*, *LeafIt* e *Petiole*. O aplicativo *LeafByte* foi executado em celular com sistema operacional iOS. Os demais foram executados em celular com sistema operacional Android. O *ImageJ* é um software de código aberto, que permite adaptações, além disso o sistema reconhece diferentes formas, volume e cor (MARTIN et al., 2020). A Figura 1 mostra a imagem de folhas que foram escaneadas e processadas no *ImageJ*.

Figura 1 – Imagens escaneadas para medir a área foliar no ImageJ



Fonte: Autora.

As imagens utilizadas no *ImageJ* foram coletadas através do escaneamento da folha em uma impressora Epson L210 e processadas em um computador. Para os aplicativos, foi utilizado um suporte de celular com altura ajustável que está apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Suporte de celular para coletar as imagens



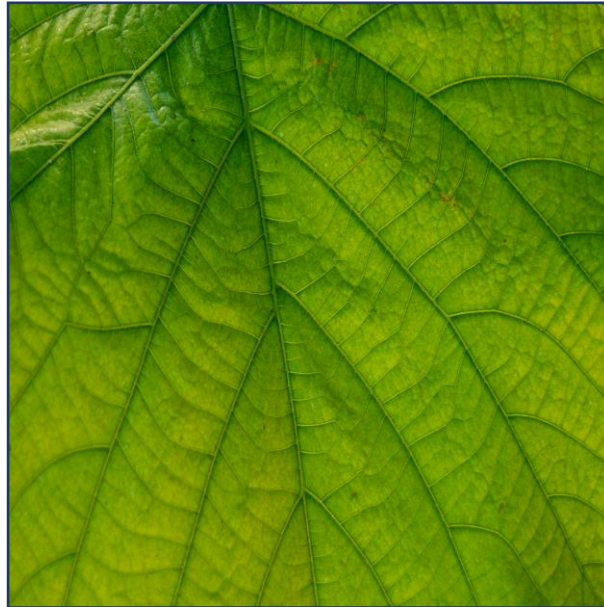
Fonte: Autora.

- Avaliação da resolução de escaneamento adequada para a medição de área foliar no *software ImageJ*.

Para a determinar a resolução de escaneamento adequada para uso do programa de computador *ImageJ*, utilizou-se uma folha artificial (Figura 3) com área conhecida. Para isso, foi criada uma folha de formato quadrado em computador e impressa em papel sulfite com cor e textura similar à folha natural. A área real da folha teste de 6400,00 mm<sup>2</sup> foi determinada através das dimensões do quadrado (80 mm de largura e 80 mm de comprimento). Foram avaliadas imagens escaneadas em diferentes resoluções (96, 120, 200, 300, 400, 500 e 600 DPI)

e mensurado o tempo de escaneamento em cada resolução. O tempo de escaneamento e o erro foram os critérios de tomada de decisão para escolha da resolução.

Figura 3 – Folha artificial com área de 6.400 mm<sup>2</sup>



Fonte: Autora.

- Avaliação da influência da planificação das folhas na determinação da área foliar.

A influência da planificação das folhas na determinação da área foliar foi analisada fazendo o uso de um vidro transparente. Foram feitas dobras na folha artificial simulando as nervuras das folhas das espécies utilizadas. Em seguida, calculou-se a área da folha artificial em cada aplicativo com e sem o uso do vidro sobre a folha. A diferença relativa das áreas da folha com nervuras e planificada foi calculada e analisada.

- Avaliação da precisão e exatidão das ferramentas computacionais em folhas de diferentes tamanhos, texturas e formatos.

Para comparar a exatidão e precisão das ferramentas computacionais em estudo, as cinco folhas das quatro espécies foram coletadas no momento de fazer as leituras. Primeiramente foi feito o escaneamento da folha e calculou-se a área no *ImageJ*. Posteriormente, foi feita a leitura da área foliar em cada aplicativo. O celular estava estático no suporte (Figura 2), com uma altura fixa de 25 cm. Para fotografar as folhas utilizou-se o sistema de captura de imagem

interno de cada aplicativo. Analisando o erro da área medida nos aplicativos em relação ao aplicativo *ImageJ*, tornou-se possível identificar o aplicativo adequado para cada espécie.

- Avaliação da funcionalidade e usabilidade dos aplicativos para determinação de área foliar.

Os aplicativos foram avaliados quanto a sua funcionalidade e usabilidade. Foi convidado um grupo de 6 pessoas para testar os aplicativos e responder um questionamento sobre o uso dos mesmos. Por meio do questionário apresentado na Tabela 1 avaliou o domínio sobre o uso dos aplicativos, a preferência entre eles, o tempo de processamento de cada um e a precisão dos resultados, em relação a área medida previamente.

Tabela 1 – Questionário aplicado aos voluntários que testaram os aplicativos

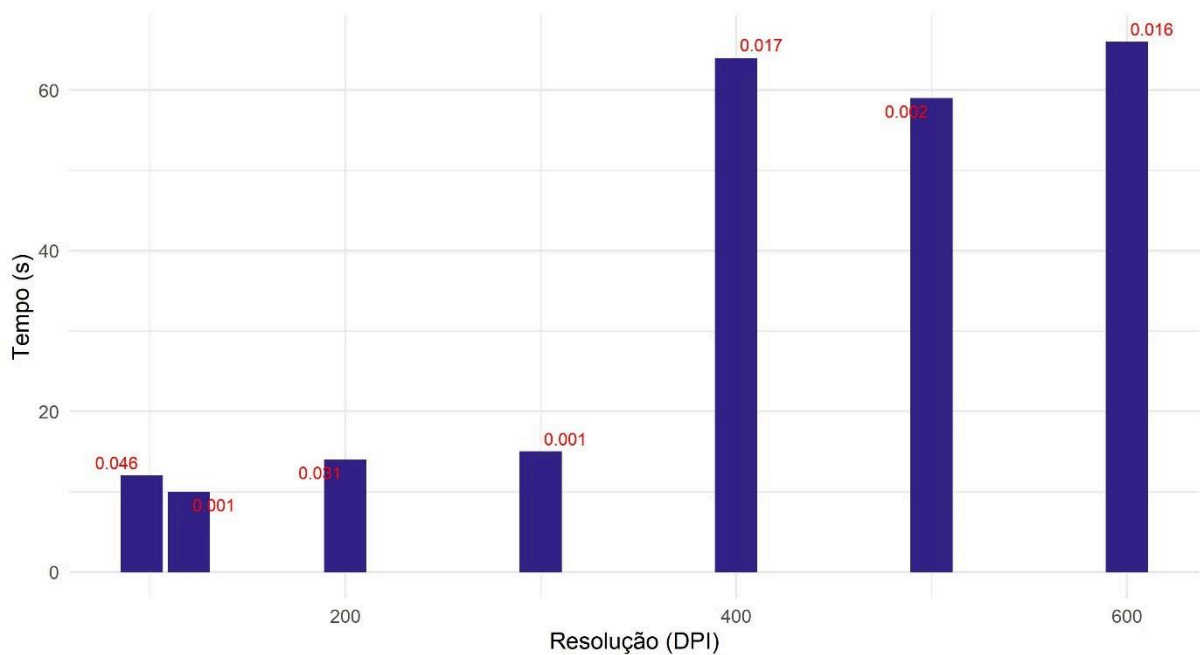
QUESTIONÁRIO
1 – Qual aplicativo você considera de mais fácil uso?
2 – Qual aplicativo apresentou o pior desempenho?
3 – De acordo com a interface, qual aplicativo aparenta uma maior precisão?

Por fim, a leitura dos resultados foi analisada conforme a média do erro relativo entre área foliar medida nos aplicativos e a área referência medida no *ImageJ* e as análises descritivas foram realizadas no *software R* (R CORE TEAM, 2017) usando o pacote “*ggplot2*” (HADLEY, 2015) para ilustração.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento das imagens e o tratamento estatístico dos dados, observou-se que a resolução ótima de escaneamento para a medição de área foliar usando o *ImageJ* é de 300 DPI. Para chegar a esse resultado foi considerado o tempo de escaneamento e o erro relativo entre a área real e a área medida no software, que está apresentado de vermelho. Como pode ser observado na Figura 4, em todas as resoluções o erro foi menor que 0,05 %, portanto o fator determinante para tomada de decisão foi o tempo (em segundos) gasto no escaneamento da imagem.

Figura 4 – Relação entre a resolução de escaneamento das imagens, o tempo gasto e o erro relativo à área foliar real



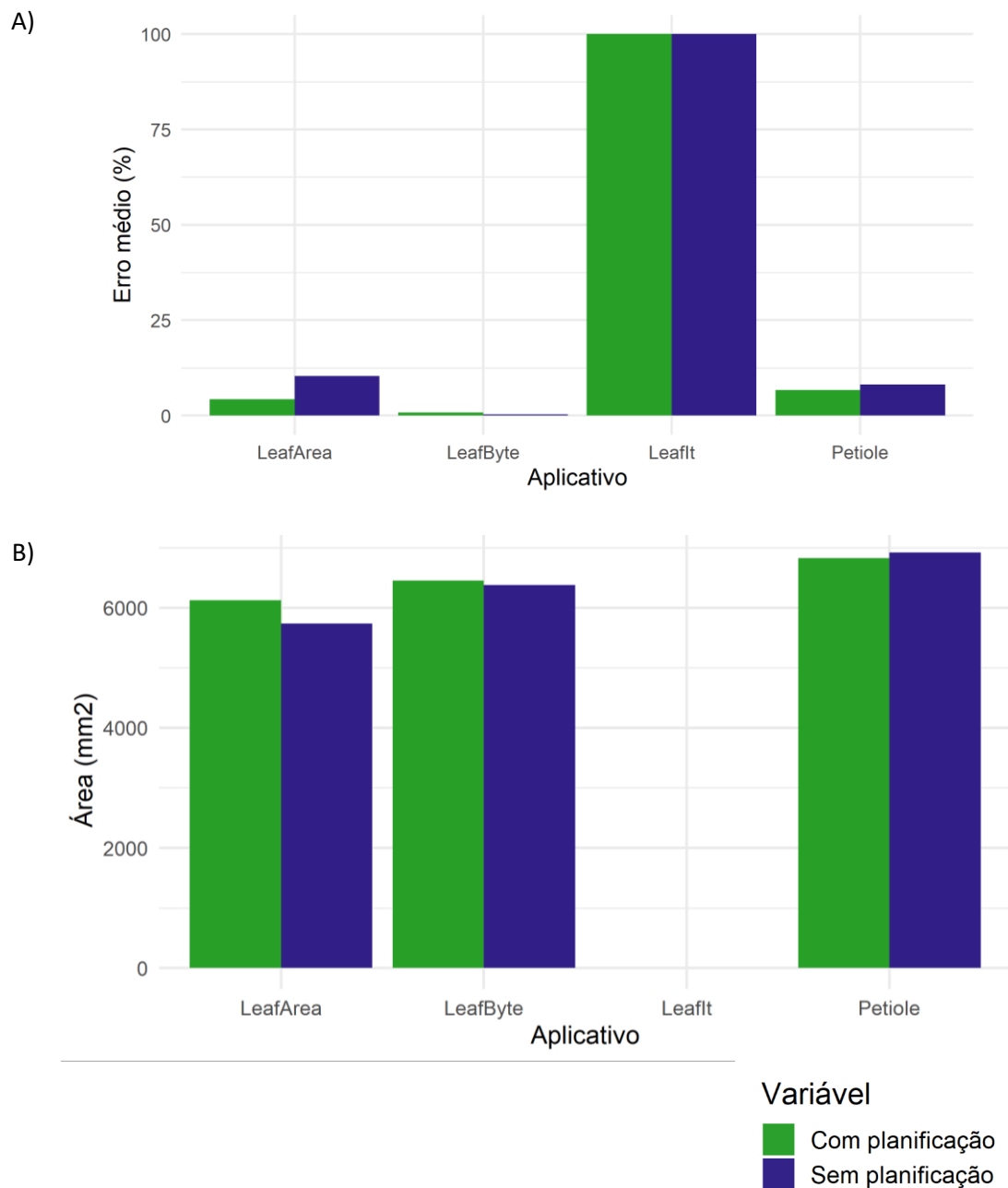
Fonte: Autora.

Ao contatar o erro relativo insignificante quanto a resolução de escaneamento, precisa-se observar o tempo. No gráfico (Figura 4) percebeu-se que a partir de 300 DPI o tempo de escaneamento quadruplica-se, e o erro continua insignificante, sendo essa variável decisiva na escolha da resolução, que foi usada em todas as análises. Além disso, sabe-se que é comum o uso da resolução de 300 DPI para escaneamento de imagens em outros estudos de determinação de área foliar (PANTOJA et al., 2014).

Para o processamento no *ImageJ*, as imagens foram usadas em escala de cinza. Usando a folha teste (Figura 3) e por meio de tentativa e erro, calibrou-se a escala em 300 DPI para 11,9 pixels/mm. Manualmente foi feito um ajuste de *threshold* e selecionamos a área a ser mensurada (LEITE et al., 2021). Observou-se que o software é sensível a erro humano e o processo de calibração da escala influencia significativamente no resultado. Por exemplo ao usar-se uma escala de 13 pixel/mm a erro da área foliar da folha artificial (Figura 3) medida pelo *ImageJ* é de aproximadamente 13%. Este fator existe porque o *ImageJ* é um programa que faz uma leitura de pixel por espaço, calculando a área através dessa contagem.

De modo geral, os testes com e sem o uso do vidro resultam em medidas mais precisas quando as folhas são planificadas (Figura 5A). A Figura 5B mostra que os aplicativos *LeafArea* e *LeafByte* tendem a diminuir a área foliar sem uso do vidro. Acredita-se que isso acontece, porque o algoritmo desses aplicativos elimina as sombras projetadas. Já o aplicativo *Petiole* tende a apresentar uma área foliar maior do que a real e um baixo erro em relação a falta da planificação. Sabe-se que o algoritmo do aplicativo *Petiole* faz a leitura das sombras projetadas, sendo esse o motivo do aplicativo apresentar esse comportamento. O aplicativo *LeafIt* apresentou um erro de 100%, isso significa que ele não realizou a leitura da imagem da folha teste. O motivo do aplicativo comportar-se dessa forma é a sua sensível em relação as cores e texturas, que está relacionado com seu método de medição de área baseado em detecção de margem.

Figura 5 – Erro relativo entre a área foliar medida nos aplicativos e no software *ImageJ*, considerando a planificação da folha e a forma natural.

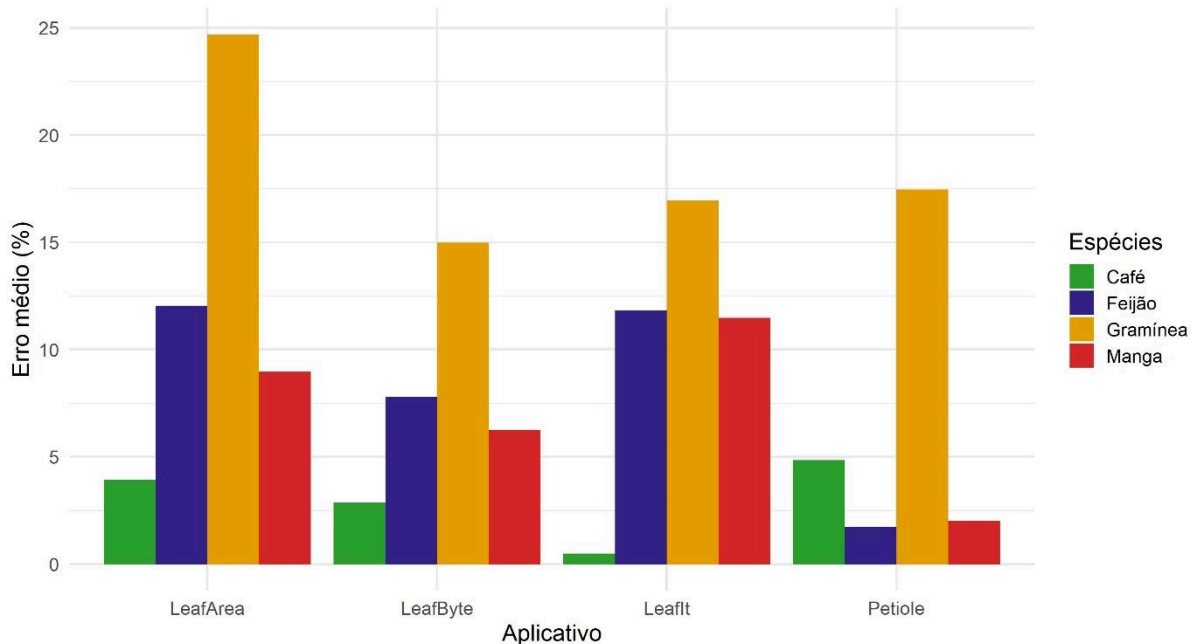


Fonte: Autora.

Ao avaliar a precisão e exatidão das ferramentas computacionais em folhas de diferentes tamanhos, texturas e formatos, verificou-se que a espécie que apresenta menor erro médio relativo em todos os aplicativos é o café, seguido da manga e do feijão. A tendência foi que os aplicativos apresentassem menor erro relativo e menor variância ao medir a área foliar cuja espécie possuem folhas com dimensões maiores (relação comprimento x largura), formas elípticas ou ovais, cores escuras e texturas mais grossas, como a folha do café. Já a gramínea,

em todos os aplicativos têm maior imprecisão mostrando a dificuldade de medir área foliar em espécies de folhas pequenas e lineares. A Figura 6 mostra que a espécie analisada é determinante na média do erro por aplicativo.

Figura 6 – Erro relativo entre a área foliar por espécie, medida em cada aplicativo



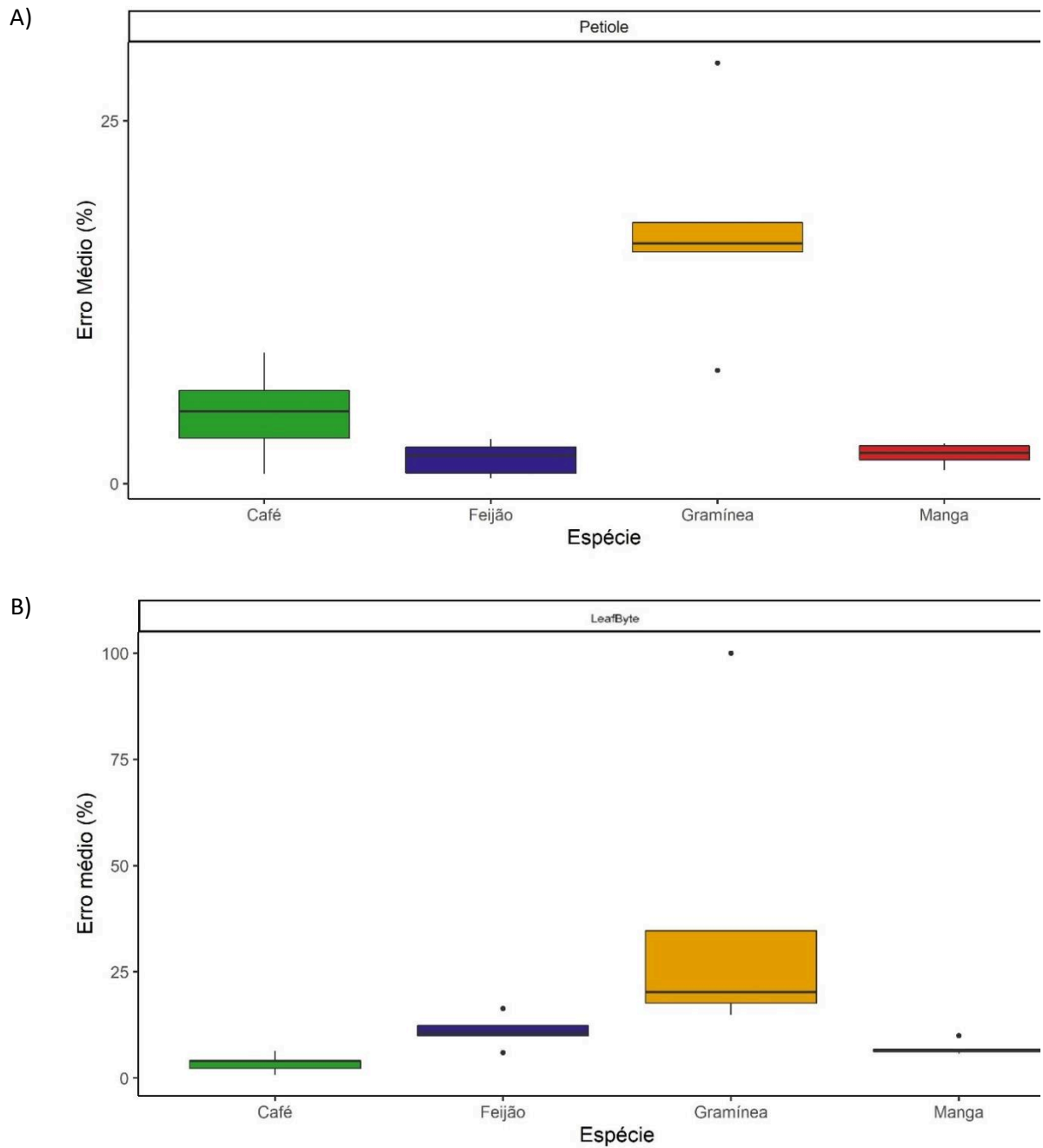
Fonte: Autora.

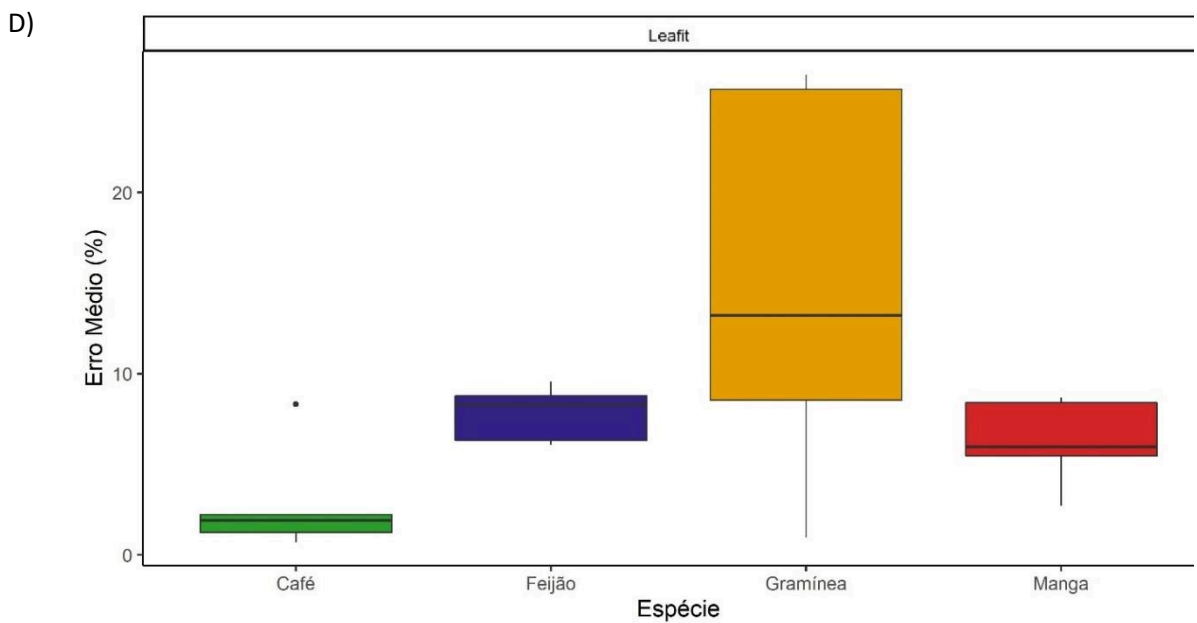
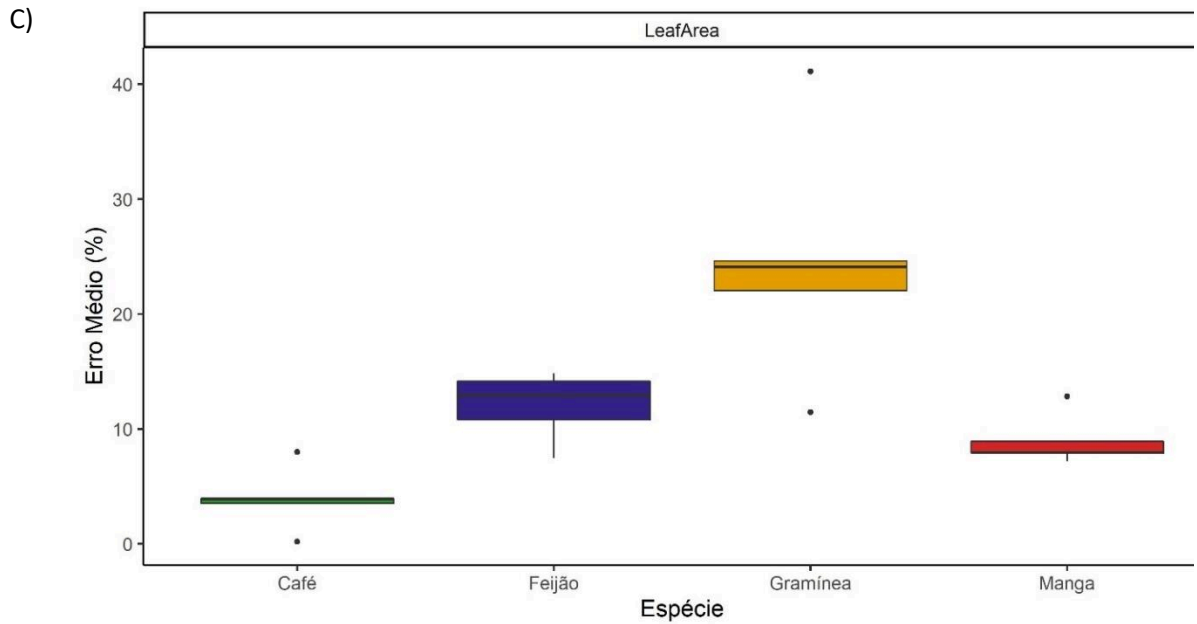
Na Figura 7 pode-se observar o erro e a variância em relação a cada espécie em cada aplicativo, e têm-se um comportamento padrão em todos os aplicativos. Na figura 7A observa-se que aplicativo *Petiole* apresenta uma baixa variância no erro, acredita-se que esse fenômeno acontece devido o algoritmo do aplicativo tender a errar mais em relação a largura foliar, e não ao comprimento da folha. Apesar disso, é na folha do café que o aplicativo apresenta maior variância do erro, comportando-se diferente dos demais. No entanto a gramínea apresenta maior erro neste aplicativo, encontrando-se em uma faixa entre 7,81% e 28,98%.

No *LeafByte* (Figura 7B), a maior variância está relacionada a área foliar da gramínea, com previsto. A variância no erro da área foliar da gramínea está entre 8,52% e 25,69%. No aplicativo *LeafArea* (Figura 7C) o comportamento mante-se padrão. Apesar do erro médio da área foliar ser 24,67% a variância do erro relativo à gramínea está entre 11,46% e 41,12%. No aplicativo *LeafIt* (Figura 7D) as leituras foram mais difíceis, o aplicativo não conseguiu fazer

ler a área de duas folhas (duas repetições) da gramínea. Isto resultou em uma variância grande no erro relativo à gramínea, encontrando-se entre 14,88% e 100%.

Figura 7 – Erro relativo da área foliar por espécie, em cada aplicativo, A - *Petiole*, B - *LeafByte*, C - *LeafArea* e D - *LeafIt*





Fonte: Autora.

Quanto a funcionalidade e usabilidade dos aplicativos, foi unanimidade a preferência pelo *Petiole*. Os seis voluntários avaliaram o *Petiole* como o aplicativo mais fácil e mais preciso. A constatação geral foi que o aplicativo possui uma interface intuitiva, fácil, rápida e precisa. Além disso, a calibração prévia feito pelo próprio algoritmo diminui a chances de erro humano. Porém a observação é que a iluminação influencia muito na leitura da área.

## 5 CONCLUSÃO

Podemos concluir que dispositivos móveis gratuitos mostram-se ferramentas eficientes e aplicáveis em situação de campo para diferentes sistemas operacionais, como o *LeafArea* no Android e o *LeafByte* no iOS. Considerando os aplicativos analisados, o *Petiole* mostrou-se o mais preciso e usual. Levando em consideração todas as espécies testadas e todas as medidas de área analisadas, este aplicativo apresenta um erro médio menor e uma baixa variância. Além disso, possui uma interface simples e precisa. Porém, foi observado que a área foliar no aplicativo é muito sensível a luz, sendo assim mais interessante usá-lo em ambientes controlados e pelo método destrutivo.

O aplicativo *LeafIt* gerou dados com baixa precisão e apresentou um processamento muito lento, então para medir a área foliar pelo método destrutivo ele não mostrou-se interessante. Como sugestão seria testá-lo em nível de campo e com maior população de plantas. Com seu algoritmo funciona por reconhecimento de margens, acredito que terão bons resultados.

No sistema operacional iOS o *LeafByte* apresentou-se como uma boa opção de ferramenta para medir área foliar em dispositivos móveis. No entanto para folhas de cores estreitas, textura fina, dimensões pequenas e lineares, ele não consegue detectar a área a ser lida.

Apesar de não ter apresentado a melhor eficácia, o *LeafArea* é um aplicativo que gerou dados uniformes e com baixa variância. É uma opção gratuita e de fácil acesso, que pode ser útil em situações de uso provisório.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. R. DE A.; CONTINI, E.; GASQUES, J. G. Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C.; SILVA, A. G. (Eds.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1<sup>o</sup> Edição. v. 1p. 1–1340, 2008.
- CARGNELUTTI FILHO, Alberto *et al.* **Estimação da área foliar de mucuna cinza por meio de método não destrutivo**. *Ciência Rural* v. 42, n. 2, p. 238–242, 2012.
- CARLA CEOLIN, Alessandra *et al.* **Analysis of publications on digital agriculture: a temporal cut from 2007 to 2016**. *Brazilian Journal of Development* v. 7, n. 11, p. 105865–105881, 2021.
- CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. **Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* v. 9, n. 3, p. 377–385, 2001. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/folharosto1.pdf>>.
- DRIENOVSKY, R *et al.* **Scan LeafArea - a software application used in the determination of plants**. n. February, 2017.
- EVANGELISTA, Balbino Antonio; LOPES, Isabella; CUADRA, Santiago Vianna. **Estimation of the leaf area index of the soybean crop grown in the cerrado area of Tocantins**. *Embrapa Pesca e Aquicultura* v. Anais, p. 1414–1419, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1115069/estimativa-do-indice-de-area-foliar-da-cultura-da-soja-cultivada-em-area-de-cerrado-do-tocantins>>.
- FAVARIN, José Laércio *et al.* Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 37, n. 6, p. 769–773, 2002.
- FERNANDO, Alisson; MARGIOTTI, Claviso. **Cálculo automático de área foliar da soja danificada**. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa* v. 34, n. Especial 2018. Disponível em: <<http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/292/1281>>.
- GETMAN-PICKERING, Zoe L. *et al.* **LeafByte: A mobile application that measures leaf area and herbivory quickly and accurately**. *Methods in Ecology and Evolution* v. 11, n. 2, p. 215–221, 2020.
- GOMIDE, José Alberto; GOMIDE, Carlos Augusto de M. **Utilização e manejo de pastagens**. *A produção Animal na visão dos brasileiros*. Piracicaba: FEALQ. p. 808–825, 2001.
- GUIMARÃES, Miguel Julio Machado *et al.* **Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca**. *Revista de Ciências Agrárias* v. 62, p. 1–5, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3015%0AMiguel>>.

HOTT, G M C *et al.* **Análise de imagens de área foliar em pastagens e geração de base de dados geográficos a partir de plataforma mobile.** Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, Brasil. v. 907, p. 903–907, 2017.

IBGE. **Produto Interno Bruto - PIB.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <URL <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php> >. Acesso em: 16 de junho de 2022.

SILVA; Jocélia Rosa da; PUHL, Arno Bernardo Heldwein Daniella Moreira Salvadé Andressa Janaína; BRIXNER, Adriana Almeida do Amarante Gabriel Franke. **Estimativa da área foliar da camomila com o uso do ImageJ.** Revista da 15ª Jornada de Pós graduação e Pesquisa v. 15, p. 1140–1150, 2018. Disponível em: <<http://revista.urcamp.tcche.br/index.php/rcjpgp/article/view/2892>>.

LEITE, Maurício Luiz De Mello Vieira; LUCENA Leandro Ricardo Rodrigues de; CRUZ, Manoela Gomes da; SÁ JÚNIOR, Eduardo Henrique de; e SIMÕES, Vicente José Laamon Pinto. **Leaf area estimate of Pennisetum glaucum by linear dimensions.** Acta Scientiarum - Animal Sciences v. 41, n. 1, p. 1–7, 2019.

LEITE, Mauricio L de M V *et al.* **Comparison of methods for estimating leaf area in pornunça (Manihot sp.).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v. 25, n. 11, p. 733–740, nov. 2021. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141543662021001100733&lang=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662021001100733&lang=es)>.

MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31 - Projeções de Longo Prazo.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento p. 101, 2021.

MARTHA JÚNIOR, Geraldo Bueno *et al.* **Intensidade de desfolha e produção de forragem do capim-tanzânia irrigado na primavera e no verão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira v. 39, n. 9, p. 927– 936, 2004.

MARTIN, Thomas Newton *et al.* **ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats.** Acta Agronômica v. 69, n. 3, p. 162– 169, 2020.

MARTIN, Thomas Newton *et al.* **Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão.** Interciência v. 38, n. 12, p. 843–848, 2013. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/1503245613>.

MEGETO, Guilherme Augusto Silva *et al.* **Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0.** Revista Ciência Agronômica v. 51, n. 5, p. 1–8, 2020.

MEIRA, Luiz Antonio *et al.* **USPLeaf: Automatic leaf area determination using a computer vision system.** Revista Ciência Agronômica v. 51, n. 4, 2020.

PANTOJA, Fernanda Marques *et al.* **IMAGEJ - ANÁLISE AUTOMATIZADA.** Apêndice 3. 1 p. 1–7, 2014.

PEREIRA, Dyanna Rangel *et al.* **Comparison among non-destructive methods of leaf area estimation in arabica coffee.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research v. 3, n. 4, p. 2819–2828, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/17674/14341>>.

RIBEIRO, João Everthon da Silva *et al.* **Estimativa da área foliar de *Mesosphaerum suaveolens* a partir de relações alométricas.** Rodriguésia v. 71, p. 1–9, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175-7860202071115%0AArtigo>>.

SCHRADER, Julian; PILLAR, Giso; KREFT, Holger. **Leaf-IT: An Android application for measuring leaf area.** Ecology and Evolution v. 7, n. 22, p. 9731–9738, nov. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.3485>>.

SINGH, Jagjeet; KUMAR, Abhishek; SINGH, Laxman. **Performance of the petiole mobile application on the leaf area estimation as varied with calibration height.** The Pharma Innovation v. 10, n. 4S, p. 337–341, 2021.

SOUZA, Ana Laura Pereira *et al.* **Avaliação de três métodos de obtenção do índice de área foliar para cultura da soja.** Nativa v. 7, n. 3, p. 284, 30 abr. 2019. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7545>>.

TOEBE, Marcos *et al.* **Leaf area estimation of squash “brasileirinha” by leaf dimensions.** Ciência Rural v. 49, n. 4, p. 1–11, 2019.