



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA**

ARMANDO HENRIQUE FERNANDES DE LIMA

**MODELAGEM PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR
DO FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIEDADE PAULISTINHA**

**SUMÉ - PB
2023**

ARMANDO HENRIQUE FERNANDES DE LIMA

**MODELAGEM PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DO
FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIEDADE PAULISTINHA**

**Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Tecnologia em
Agroecologia, do Centro de
Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido da Universidade Federal de
Campina Grande, como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Agroecologia.**

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.

**SUMÉ - PB
2023**



L732m Lima, Armando Henrique Fernandes de.
Modelagem para estimativa não-destrutiva de área foliar do feijão-caupi [Vigna unguiculata (L.) Walp.] variedade paulistinha. / Armando Henrique Fernandes de Lima. - 2023.

32 f.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia.

1. Feijão-caupi - variedade paulistinha. 2. Área foliar - feijão-caupi. 3. Vigna unguiculata. 4. Medições lineares. 5. Foliolos. 6. Sementes crioulas - feijão-caupi. 7. Software ImajeJ. I. Ferraz, Rener Luciano de Souza. II. Título.

CDU: 631.53.01(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista

CRB-15/626

ARMANDO HENRIQUE FERNANDES DE LIMA

MODELAGEM PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIEDADE PAULISTINHA

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Tecnologia em Agroecologia, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Agroecologia.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ**
Data: 16/03/2023 18:07:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG

Documento assinado digitalmente
 **RUMMENIGGE DE MACEDO RODRIGUES**
Data: 20/03/2023 18:23:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues
Examinador Interno I - UATEC/CDSA/UFCG

Documento assinado digitalmente
 **SEMAKO IBRAHIM BONOU**
Data: 16/03/2023 18:11:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Semako Ibrahim Bonou
Examinador Externo II - UAEEA/CTRN/UFCG

Documento assinado digitalmente
 **IGOR ENEAS CAVALCANTE**
Data: 20/03/2023 14:55:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Igor Eneas Cavalcante
Examinador Externo III – CCA/UFPB

Trabalho Aprovado em: 16 de fevereiro de 2023

SUMÉ - PB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a minha mãe, Elizabete, por todo empenho, dedicação e incentivo e apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço ao meu orientador, professor Rener Luciano de Souza Ferraz, por aceitar meu convite para me orientar e pela paciência durante o período em que fui seu orientando.

Por último quero agradecer aos amigos que fizeram parte da minha graduação. Pessoas que estiveram comigo nos difíceis e bons momentos, deram apoio e me incentivaram a continuar durante esses anos, em especial, Paulo Theodoro, Igor Ferreira, Hugo Simplicio, Wedley Galdino, Marcelo Batista, Pâmela Valões, Jarlean Lopes, Vivian Paolla, Barbara Ayres, Dayvid Mendes, D'ávilla Jhonny, Osmar Antonio, Vitória Rayane, Tainá Eponina e José Ilton. Obrigado a cada um de vocês!

RESUMO

O feijão-caupi é uma espécie de grande importância econômica, sociocultural e ambiental, sendo empregada para múltiplos usos. Assim, objetivou-se ajustar modelos de regressão para estimativa da área foliar dos folíolos por método não-destrutivo a partir de medidas lineares do comprimento, largura e do produto. A pesquisa foi realizada no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da UFCG. Foram coletadas 335 amostras, nos quais foram realizadas medidas para determinação do comprimento “C” e da largura “L” e, posteriormente, quantificada por meio do software ImageJ. Concluiu-se que, os modelos alométricos podem ser usados com alta precisão para estimar a área foliar do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] variedade paulistinha com o método não-destrutivo, a partir das medições lineares de comprimento, largura e o produto do folíolo. A área foliar dos folíolos do feijão-caupi pode ser estimada pelo modelo $AFE = 1,85 + 0,69 \times CL$.

Palavras-chave: medições lineares; agroecologia; folíolos.

LIMA, Armando Henrique Fernandes de. **Modeling for non-destructive estimation of leaf area of feijão-caupi [*vigna unguiculata* (L.) walp.] variety paulistinha**. 2023. 33f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, – Sumé - Paraíba – Brasil, 2023.

ABSTRACT

The cowpea bean is a species of great economic, socio-cultural and environmental importance, being employed for multiple uses. Thus, it was aimed to adjust regression models for estimating the leaf area of the leaflets by non-destructive method from linear measurements of length, width and product. The research was carried out at the Center for Sustainable Development of the Semiarid of UFCG. A total of 335 samples were collected, in which measurements were taken to determine the length "C" and width "L", and subsequently quantified using ImageJ software. It was concluded that, the allometric models can be used with high accuracy to estimate the leaf area of the feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] variety paulistinha with the non-destructive method, from the linear measurements of length, width and the leaflet product. The leaf area of cowpea leaflets can be estimated by the model $AFE = 1.85 + 0.69 \times CL$, where AFE is the estimated leaf area and CL is the product between length and width.

Keywords: linear measurements; agroecology; leaflets.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GERAL.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1	SEMENTES CRIOULAS.....	10
3.2	IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS.....	10
3.3	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	12
3.4	ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR.....	12
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1	CULTIVO DE CAMPO DOS GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI.....	15
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO.....	17
4.3	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	17
4.4	ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6	CONCLUSÃO.....	24
	REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma espécie de leguminosa amplamente cultivada em países tropicais e subtropicais, onde se destaca como um dos principais componentes da dieta alimentar da população devido ao seu alto valor nutritivo (SILVA *et al.*, 2016; VARELA *et al.*, 2019).

Diferentemente do cenário de produção do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o cultivo do feijão-caupi no Nordeste brasileiro tem demanda crescente e atingiu 1,05 milhão de hectares de área cultivada e produção de 409,3 mil toneladas na safra 2018/2019, o que representa 67% da produção área cultivada e 55% da produção total de feijão nesta região (CONAB, 2019).

Segundo dados da CONAB (2021), na safra 2019/2020, o Brasil apresentou uma área plantada correspondente a 1.307.800,00 ha, com produção de 712,6 mil toneladas dessa leguminosa, sendo os maiores produtores os estados do Mato Grosso (150.600 ton.), Ceará (144.900 ton.) e Bahia (109.600 ton.).

O cultivo do feijão-caupi é de extrema importância, pois gera emprego e renda para pequenos e médios agricultores (CAMARA *et al.*, 2018). A adaptabilidade às condições de seca, baixo custo de produção, curto tempo para completar o ciclo fenológico e produção de sementes em condições edafoclimáticas adversas são características que aumentam seu cultivo e relevância para a economia local (MEDEIROS *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2018).

No Brasil, o feijão-caupi é cultivado principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Destaca-se nestas regiões pela contribuição relevante na renda da população através da comercialização de diversas cultivares até então lançadas no mercado (ROCHA *et al.*, 2017).

De acordo com Freire Filho e Costa (2020), o caupi é uma cultura geradora de postos de ocupação econômica e de trabalho formal, suprimindo uma cadeia produtiva que se estende do agricultor familiar e de grandes empreendimentos agrícolas, passando por diversos atores da área de processamento, do comércio atacado e de varejo até o consumidor, nas pequenas e médias cidades e nos grandes centros urbanos.

A área foliar influencia diretamente os processos vitais das plantas, que incluem as trocas gasosas e a interceptação da irradiância (CÓRCOLES *et al.*, 2015). A forma e a quantidade de luz interceptada é fator determinante para a fotossíntese e interfere diretamente na aquisição de recursos essenciais para a formação de carboidratos (MATTOS *et al.*, 2020),

portanto, a energia luminosa captada pelas folhas de uma cultura é fundamental para moldar seu crescimento (LIU *et al.*, 2021).

Os métodos para estimar a área foliar podem ser diretos ou indiretos e diferem em plantas de amostragem destrutiva ou não-destrutiva (ZHANG, 2020). Os métodos diretos são economicamente inviáveis, limitados por fatores logísticos e impedem medições sucessivas de folhas (HERNANDEZ-FERNANDEZ *et al.*, 2021). Por outro lado, um método indireto não-destrutivo de determinação da área foliar é por meio de relações alométricas e considera a proporcionalidade das dimensões lineares das folhas (SANTOS *et al.*, 2021).

Para monitorar o desenvolvimento foliar e quantificar um modelo de regressão que estime a área foliar, é necessário o uso de métodos de processamento digital, ferramentas viáveis, precisas e econômicas para as culturas (SAUCEDA-ACOSTA *et al.*, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Ajustar modelos de regressão linear para estimativa não-destrutiva de área foliar a partir de dimensões lineares de folhas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar em campo as dimensões lineares de folíolos de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Determinar a área real dos folíolos utilizando-se de processamento de imagens digitais.

Ajustar modelos de regressão linear a partir dos dados de dimensões lineares e área foliar real.

Ajustar os modelos utilizando-se de desempenho estatístico, quanto à qualidade, precisão, exatidão e performance geral.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SEMENTES CRIOULAS

Segundo a LEI Nº 10.711, de 05 de agosto de 2003, Variedade Crioula é “uma variedade desenvolvida, adaptada ou produzida por agricultores familiares, assentados da reforma agrária ou indígenas, com características fenotípicas bem determinadas e reconhecidas pelas respectivas comunidades e que, a critério do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), são considerados também descritores socioculturais e ambientais e não se caracterizam como semelhantes às cultivares comerciais”.

As sementes crioulas utilizadas na agricultura familiar nordestina advêm de diversas variedades e são importantes para os pequenos agricultores, pois representam a sua base alimentar e cultural, o que torna fundamental na manutenção da qualidade fisiológica das sementes durante o armazenamento nos bancos de sementes (ANTONELLO *et al.*, 2009).

Gomes (2017) avaliou 12 variedades crioulas de feijão-caupi quanto às características agronômicas e ao desempenho produtivo, e relataram que é possível indicar a variabilidade genética nestas variedades, além de indicar genótipos que apresentam os caracteres indicados para a produção familiar, tanto na produtividade, quanto nos caracteres desejados da arquitetura da planta e no consumo das sementes. Assim como os dados nutricionais destas sementes tradicionais, que muitas vezes possuem teores nutricionais superiores às variedades melhoradas.

A obtenção da melhor safra passa pela escolha da semente e é determinada por aquela que detém os melhores atributos genéticos, fisiológicos e agronômicos adaptados à região de interesse. No entanto, nas regiões do semiárido brasileiro algumas cultivares não têm obtido desempenho satisfatório em função da irregularidade das chuvas (PERAZZO *et al.*, 2013).

Portanto, o que predomina nestas condições é a utilização de sementes crioulas, que são selecionadas por agricultores de geração em geração, ao longo de várias décadas (SOARES JÚNIOR *et al.*, 2015).

3.2 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS

Segundo (OLIVEIRA *et al.*, 2020), o consumo humano de feijão-caupi também é realizado por meio de produtos industrializados e na alimentação animal como forragem ou em mistura com silagem (GEREN *et al.*, 2008; SAMIREDDYPALLE *et al.*, 2017). Existem

inúmeras evidências correlacionando a ingestão de altas quantidades de pulses, como o feijão-caupi, com a melhora da saúde e, conseqüentemente, queda do risco de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade (LUDWIG, 2002 BOUCHENAK; LAMRI-SENHADJI, 2013).

É considerada uma espécie de grande relevância para a alimentação humana, uma vez que seus grãos apresentam características nutricionais importantes, tais como: elevado teor de proteínas (20-29%) e amido (56-74%); quantidade elevada de vitaminas, minerais e fibras alimentares; além de uma baixa quantidade de lipídios (2%) (JAYATHILAKE *et al.*, 2018; GONDWE *et al.*, 2019).

O feijão-caupi, também chamado feijão de corda ou feijão-macassar, é uma dicotiledônea de ciclo fotossintético C3, pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseoleae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (BADIANE *et al.*, 2014; PAIVA, 2015). Trata-se de uma leguminosa muito versátil, com porte que varia entre o ereto, semi ereto, prostrado e semi prostrado, podendo apresentar crescimento determinado ou indeterminado (PADULOSI, 1993).

É uma espécie amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, devido a sua elevada capacidade de adaptação a climas quentes e secos, consequência da grande variabilidade genética apresentada pela leguminosa que com investimentos modestos aplicados no campo do melhoramento vegetal e genética molecular viabiliza ganhos genéticos expressivos (SIMION, 2018).

Para cada inflorescência, as flores são formadas em pares alternados em nós espessos presentes na ponta do pedúnculo acompanhadas de nectários extraflorais presentes entre cada par de flores (HEUZÉ *et al.*, 2015), exceto para as plantas com inflorescência composta, onde cada pedúnculo emite diversas ramificações capazes de produzir flores viáveis (ROCHA *et al.*, 2007).

A folha é larga, a quilha da flor é reta, os estames diáfanos, ovário séssil com muitos óvulos, e um estilo piloso na parte interna que finaliza em um estigma oblíquo. As vagens surgem aos pares formando um “V”, em sua maioria pendendo para baixo, mas podem se manter suspensas, são cilíndricas, em geral com 6 a 20 cm de comprimento, 3 a 12 mm de largura, contendo de 8 a 20 sementes de cor variável entre branca, preta, marrom ou rosa (HEUZÉ *et al.*, 2015).

3.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Pesquisadores destacam que até 2050 haverá aumento populacional, demanda por alimentos e pressão sobre os recursos naturais, o que implicará em mudanças climáticas e estresses abióticos como a seca, que limita a produção e enfatizam que a opção por cultivares melhoradas para tolerância a seca pode ser uma estratégia de cultivo viável. Nessa região, é necessário o uso de irrigação e aplicação de nutrientes para atingir níveis adequados de produtividade, o que eleva o custo da produção agrícola a cada ano e incentiva os produtores a buscarem novas opções para seus arranjos produtivos (LIU *et al.*, 2020; MELO *et al.*, 2020).

O cultivo do feijão-caupi ocorre principalmente em regiões semiáridas, onde representa uma das principais alternativas para produção de grãos, já que possui ampla variedade genética, moderada adaptabilidade ao déficit hídrico no solo (LIU *et al.*, 2019) e baixo custo de produção, constituindo-se como uma das principais fontes de renda para as populações rurais (PÚBLIO-JÚNIOR *et al.*, 2017).

Nessas regiões, o feijão-caupi se destaca como uma das leguminosas mais importantes, uma vez que se apresenta como um dos principais componentes da dieta alimentar, principalmente para as populações de baixa renda (GONDWE *et al.*, 2019).

3.4 ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR

A área foliar é uma variável de crescimento reconhecida pela sua importância como indicativo da produtividade da planta, uma vez que a fotossíntese realizada pelas plantas depende da interceptação da energia luminosa pelo dossel e da sua conversão em energia química. A eficiência do processo fotossintético depende da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais são influenciadas pela arquitetura do dossel e pela dimensão do sistema fotoassimilado (FAVARIN *et al.*, 2002).

A importância da determinação da área foliar das culturas agrícolas é explicada pela estreita correlação entre esta e as taxas fotossintéticas e transpiração das plantas, uma vez que reflete a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se assim em importante indicativo da produtividade das culturas. O índice de área foliar, por expressar a proporção de cobertura do solo, implica em importante fator a ser considerado para a definição das práticas de manejo, segundo (FANCELLI, 1988).

A estimativa de área foliar (AFE) é a razão entre a superfície de captura de luz de uma folha por unidade de investimento de massa seca. A AFE é um parâmetro importante para a

avaliação do crescimento e desenvolvimento da planta, sendo sua variação depende, por exemplo, da densidade populacional. Geralmente, a área foliar específica aumenta até um máximo, decrescendo após algum tempo, sobretudo em função da senescência das folhas mais velhas. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Outra variável muito importante para a avaliação do crescimento das plantas é a estimativa de área foliar (AFE), sendo esta a área foliar do dossel por unidade de superfície projetada no solo, representando a capacidade da planta em explorar o espaço disponível a ela. A fotossíntese é depende da interceptação da radiação solar e esta por sua vez é diretamente condicionada a AFE das plantas, sendo o processo fotossintético dependente da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (TAIZ; ZEIGER., 2013).

O índice de área foliar é a relação funcional existente entre a área foliar (AFE) e a área do terreno ocupada pela cultura (FAVARIN *et al.*, 2002). O processo fotossintético depende da interceptação da luz e sua conversão em energia química, portanto, o AFE pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade (FAVARIN *et al.*, 2002) e é uma medida necessária para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos envolvendo crescimento vegetal (BLANCO & FOLEGATTI., 2003).

O conhecimento sobre AFE também pode ser útil na avaliação de várias práticas culturais como densidade de plantio, adubação, irrigação, poda e aplicação de defensivos (FAVARIN *et al.*, 2002; TAVARES-JÚNIOR *et al.*, 2002)

Vários processos fisiológicos fundamentais, como fotossíntese e transpiração são influenciados pela morfologia foliar, de modo que a caracterização morfométrica das folhas e modelagem da área foliar são ferramentas importantes para estimativa de produtividade das culturas em agroecossistemas (TEOBALDELLI *et al.*, 2020). Medições de comprimento e largura e o produto destas dimensões podem ser usados para estimativa da área foliar com métodos não-destrutivos (TEOBALDELLI *et al.*, 2020).

Estimativas de área foliar e índice de área foliar por métodos não-destrutivos podem ser realizadas a partir da captura de imagens aéreas utilizando-se de veículos aéreos não tripulados equipados com sensores espectrais (HUSSAIN *et al.*, 2020). Porém, estes métodos podem ser caros, trabalhosos e demorados (APOLO-APOLO *et al.*, 2020), o que justifica a criação e disponibilização de modelos que utilizam as dimensões lineares das folhas compostas para estimativa de área, principalmente por sua facilidade, praticidade e rapidez para obtenção dos resultados.

Para a criação destes modelos é preciso coletar folhas completas das plantas (método destrutivo) para determinação da área destas estruturas por planimetria ou processamento de imagens. Porém, após sua criação os modelos poderão ser usados para determinação de área por método não destrutivo (sem remoção dos folíolos), uma vez que as medidas lineares podem ser obtidas diretamente das folhas nas plantas (MACÁRIO *et al.*, 2020).

Após serem determinados o comprimento e a largura das folhas, deve-se ajustar uma regressão linear entre essas duas variáveis que permite estimar o quociente entre a área real e o produto do comprimento pela largura. A partir desse quociente, chamado de "fator de correção", pode-se estimar a área de qualquer outra folha da espécie, a partir do produto de suas dimensões lineares (MACÁRIO *et al.*, 2020).

Para a estimativa de área foliar, atualmente, são utilizados vários métodos, os quais na sua maioria proporcionam estimativas com alta precisão. Estes métodos são classificados em destrutivos e não-destrutivos, diretos ou indiretos (SOUSA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2013).

Os destrutivos são os que exigem elevada mão de obra e a retirada da folha da planta, já os não-destrutivos são os que não precisam da colheita da folha da planta, preservando ela, enquanto os métodos diretos são baseados em medidas realizadas diretamente na planta, utilizando equipamentos integradores de área portáteis (ILKAE *et al.*, 2011), enquanto que os indiretos são baseados em relações entre a variável biométrica mensurável e a área foliar real (SBRISSIA e SILVA, 2008; FLUMIGNAN *et al.*, 2008). Os métodos indiretos e não-destrutivos permitem avaliações sucessivas em uma mesma planta e rapidez nas avaliações (TOEBE *et al.*, 2012).

Existem na literatura vários métodos de determinação de AF, entretanto, na prática são utilizados principalmente dois: o método de dimensões foliares e o método usando o aparelho LI-COR. O aparelho LI-COR, normalmente utilizado como referência, estima a área pelo princípio de células de grade de área conhecida (Li-cor 3100, 1996), entretanto possui custo elevado e é destrutivo, uma vez que as folhas têm de ser coletadas para a análise em laboratório onde o aparelho é instalado. O método dimensões foliares (CxL) baseia-se na relação entre a área foliar real e parâmetros dimensionais do limbo foliar - comprimento (C) e largura (L) máximos. O método CxL é amplamente empregado no campo devido a sua facilidade de aplicação e possibilidade de aplicação não destrutiva.

O uso de imagens digitalizadas para medida da área foliar é uma alternativa aos métodos citados, já que não exige a retirada das folhas e também não depende de equipamentos disponíveis em laboratórios, tornando-se um método bastante simples, não prejudicial à planta e de baixo custo, segundo (FERREIRA *et al.*, 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

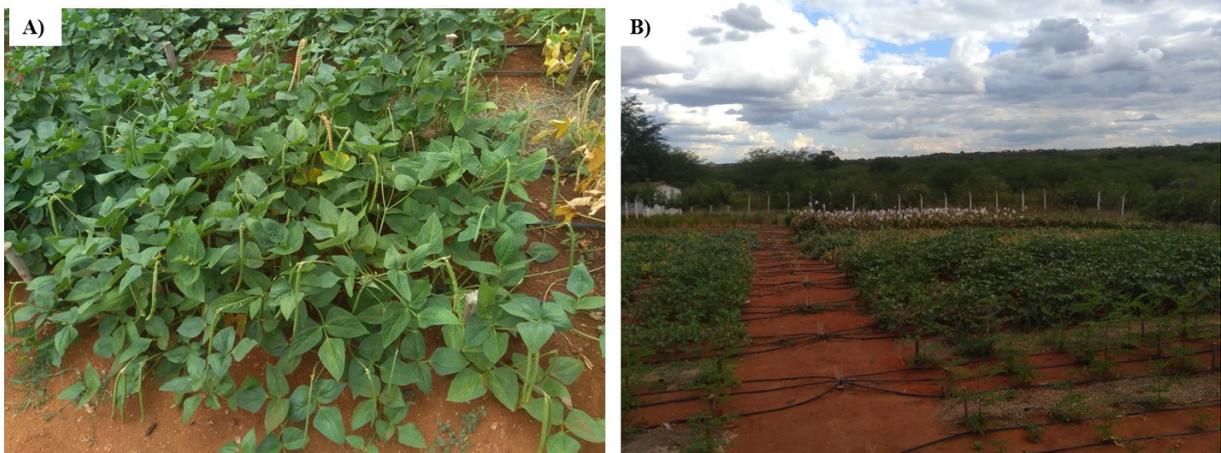
4.1 CULTIVO DE CAMPO DOS GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI

O cultivo do genótipo de feijão-caupi foi realizado no Campo Experimental do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no município de Sumé - PB, nas coordenadas de Latitude 7° 40' 18" S; Longitude 36° 52' 54" W e altitude de 518 m acima do nível do mar.

O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Bsh (semiárido quente), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação pluviométrica média anual de 600 mm (VITAL *et al.*, 2020). Durante o cultivo, dados meteorológicos foram coletados de uma estação agrometeorológica automática instalada próximo da área.

A semeadura foi feita de forma direta, com parcela possuindo tamanho de 1,5m de comprimento x 2 m de largura, espaçadas de 10 cm e três linhas com 50 cm, contabilizando um total de 60 plantas.

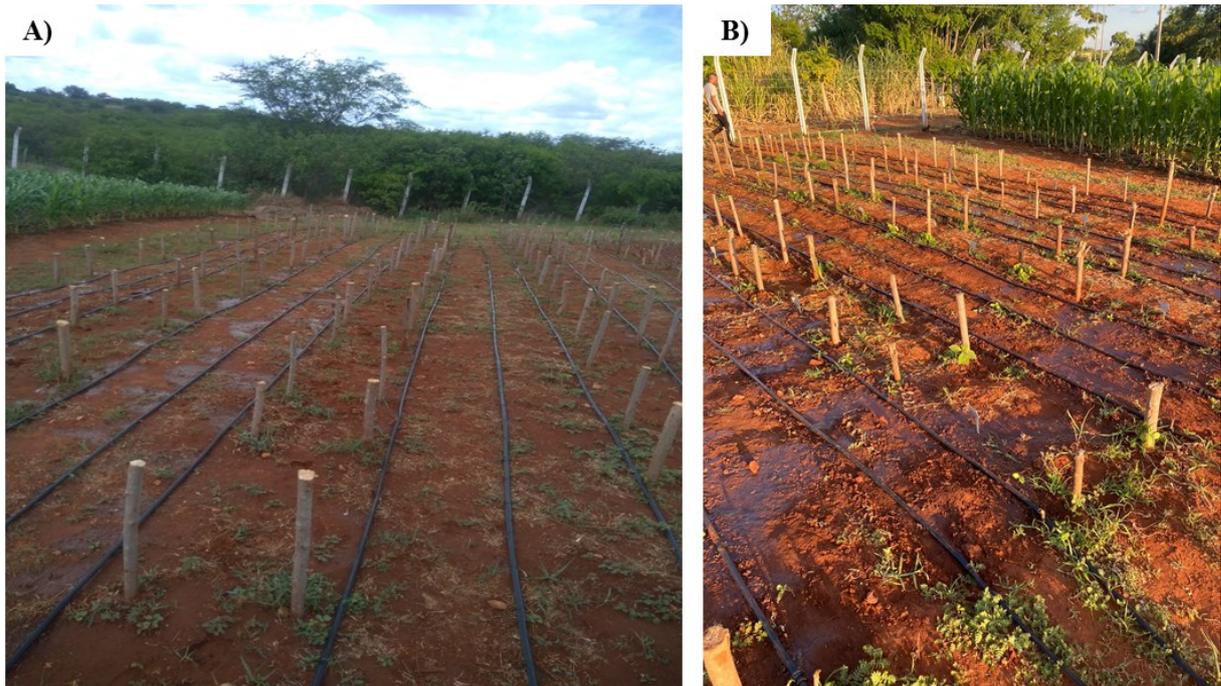
Fotografia 1 - Coleta das amostras na Área Experimental do CDSA



Fonte: Autor (2022)

Foram utilizados 335 folíolos de *Vigna unguiculata* (L.) Walp variedade Paulistinha, e após a coleta, as amostras foram levadas para serem processadas.

Fotografia 2 - Irrigação do solo para o estudo na Área Experimental do CDSA



Fonte: Autor (2022)

A irrigação ocorreu diariamente no período da manhã e foi utilizado o método de irrigação localizada e um sistema de irrigação tipo gotejamento.

Figura 3 - Aplicação de Nim para o controle de insetos praga



Fonte: Autor (2022)

O manejo de plantas espontâneas foi realizado por método mecânico utilizando-se de enxadas e arranquio manual nas proximidades das plantas. Para o controle de insetos praga, foi

utilizado o óleo de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss), conforme recomendação de (SILVA *et al.*, 2011) para a cultura do feijão-caupi.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

O solo da área experimental foi classificado como Franco Arenoso. Foram coletadas seis amostras simples submetidas ao processo de homogeneização, obtendo-se ao final uma amostra composta. Em seguida, foi realizada a análise física, cujos resultados foram: pH em H₂O = 7,81; Ca = 7,75 mmol_c dm⁻³; Mg = 5,85 mmol_c dm⁻³; Na = 0,38 mmol_c dm⁻³; K = 0,68 mmol_c dm⁻³; S = 14,66 mmol_c dm⁻³; H = 0,00 mmol_c dm⁻³; Al = 0,00 mmol_c dm⁻³; T = 14,66; Carbono de Calcio Qualitativo = ausência; Carbono Orgânico = 0,78 mmol_c dm⁻³; M.O. = 1,34 g kg⁻¹; N = 0,08 mmol_c dm⁻³; Fósforo Assimilável = 3,28 mmol_c dm⁻³; pH = 7,75; Condução Elétrica = 0,70; Cl = 3,75 mmol_c dm⁻³; C = 0,00 mmol_c dm⁻³; Bicarbonato = 2,10 mmol_c dm⁻³; Sulfato = ausência; Ca = 2,25 mmol_c dm⁻³; Mg = 3,87 mmol_c dm⁻³; K = 0,56 mmol_c dm⁻³; Na = 3,39 mmol_c dm⁻³; porcentagem de saturação = 33,33; relação de adsorção de sódio = 1,94; PSI = 2,59; salinidade = não salino; classe do solo = normal; silte = 6,46%; argila = 5,42%; classificação textural = Franco Arenoso; densidade do solo = 1,27 g mg³; densidade de partículas = 2,69 g mg²; umidade natural = 8,65; areia = 68,12; silte = 26,46%; areia = 5,42%; classificação textural = Franco Arenoso; densidade do solo = 1,27 g mg³; densidade de partículas = 2,69 g mg³; umidade natural = 0,40%.

4.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Figura 1 - Folíolos digitalizados após a realização das medidas



Fonte: Autor (2022)

Após a realização das medidas morfométricas em uma sala na própria UFCG, os folíolos foram distribuídos em uma superfície contrastante de cor branca e digitalizados em uma impressora multifuncional Epson® EcoTank L375, adotando uma régua graduada em milímetros como referência de medida na imagem.

Figura 2 - Processo das medições reais da área no software ImageJ



Fonte: Autor (2022).

As medidas reais da área dos folíolos foram realizadas com o software ImageJ®, disponível gratuitamente na internet (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>). Este software captura a imagem dos folíolos e, através de procedimentos de contraste de cores, calcula a área total (HOLGUÍN *et al.*, 2019).

4.4 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e às análises estatísticas descritivas para cálculo da média aritmética amostral, desvio padrão amostral e valor máximo, para isso foi o utilizado o Excel, posteriormente os folíolos foram classificados de acordo com o comprimento, a largura e a área (pequenas, médias e grandes).

Com esses dados de análise morfométrica e área, os folíolos foram classificados de acordo com seu comprimento, largura e área (pequeno, médio e grande). As classes pequenas e grandes foram baseadas no primeiro e terceiro quartis das curvas de distribuição de frequência de comprimento, largura e área dos folíolos. Foram considerados como médias, os folíolos cujo as medidas de comprimento, largura e área fossem equidistantes entre grandes e pequenos. (SOUZA *et al.*, 2019).

As classes pequena e grande serão baseadas no primeiro e terceiro quartis da curva de distribuição normal de frequências de comprimento, largura e área foliar. Os folíolos completos cujo as medidas de comprimento, largura e área que forem equidistantes entre grandes e pequenas serão consideradas como médias (SOUZA *et al.*, 2019). Para tanto, foi utilizado o software Microsoft Excel (WINSTON, 2016).

Para evitar a perda de precisão nas estimativas dos coeficientes de regressão, antes de ajustar os modelos alométricos entre a área observada dos folíolos e as medidas de comprimento e largura, avaliou-se o grau de colinearidade entre as medidas de C e L. Para isso, o fator de inflação de variância (VIF) foi calculado pelo método de Marquardt (1970), descrito por (Wang *et al.*, 2019).

$$VIF = \frac{1}{1-r^2}$$

Eq. 1

Onde:

FIV - fator de inflação da variância; e,

r - coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis regressoras C, L e F.

Ressalta-se que, se o valor de FIV for maior que 10, isso indica que C, L e F possuem multicolinearidade e, portanto, deverão ser desconsiderados para ajuste de modelos empíricos para prever a área foliar; se o valor FIV for menor que 10, a multicolinearidade entre C, L e F é insignificante, de modo que estas medidas dos folíolos poderão ser mantidas no ajuste dos modelos.

Atendido o pressuposto de não haver multicolinearidade, foi modelada a relação entre a área foliar com as dimensões lineares de comprimento (C, cm) e largura (L, cm) e número de folíolos (F, unidades por folíolo) das folhas ou o produto entre estas variáveis (CL, cm²), por meio dos modelos descritos nas equações 1, 2, 3

$$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times C \quad \text{Eq. 1}$$

$$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times L \quad \text{Eq. 2}$$

$$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times CL \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

AFE - área foliar observada e representa a variável dependente;

β_0 e β_1 - parâmetros a serem estimados;

C - variável independente comprimento;

L - variável independente largura;

CL - variável independente representada pelo produto do C pela L do folíolo;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no resumo das análises descritiva, verificou-se que os folíolos de Feijão-caupi possuem comprimento médio de $10,92 \text{ cm} \pm 8,57$, com valores variando de 4,51 cm a 17,17 cm e coeficiente de variação percentual de 22,97 de modo que folíolos com comprimento menor ou igual a 8,57 cm são considerados pequenos, aqueles com comprimento maior que 8,57 cm e menor ou igual a 12,87 cm são médios e aqueles com comprimento maior que 12,87 cm são grandes.

A largura média dos folíolos foi de $7,20 \pm 1,87$ cm, variando de 3,15 a 11,20 cm, com coeficiente de variação percentual de 25,92, sendo considerados pequenos folíolos com largura menor ou igual a 5,83 cm, aqueles com largura maior que 5,83 cm e menores ou iguais a 8,51 cm foram considerados médios e aqueles com largura maior que 8,51 cm foram considerados grandes.

Com relação à área dos folíolos, verificou-se que os folíolos apresentaram área média de $59,05 \text{ cm} \pm 25,05 \text{ cm}^2$, com valores variando de $9,40 \text{ cm}^2$ a $111,79 \text{ cm}^2$, com coeficiente de variação percentual de 42,78. Folíolos com área menor ou igual a $45,53 \text{ cm}^2$ foram classificados como pequenos, aqueles com área maior que $43,53 \text{ cm}^2$ e menor ou igual a $77,66 \text{ cm}^2$ foram classificados como médios e aqueles com área maior que $77,66 \text{ cm}^2$ foram classificados como grande (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise descritiva e estimativa de classes de tamanho a partir das dimensões lineares e área do Feijão-caupi, variedade Paulistinha. Sumé, PB, 2023.

Parâmetros	Dimensões lineares e área de folíolos usados para ajustar modelos			
	Comprimento (C, cm)	Largura (L, cm)	C×L	Área (A, cm ²)
Média	10,92	7,20	82,60	59,05
Desvio padrão	2,75	1,87	35,61	25,26
Mínimo	4,51	3,15	13,44	9,40
Máximo	17,17	11,20	163,51	111,79
CV%	22,97	25,92	43,11	42,78
Estimativa de Classes	Intervalo de Classes			
Classe de Folíolos Pequenos	$\leq 8,57$	$\leq 5,83$	$\leq 63,46$	$\leq 43,53$
Classe de Folíolos Médios	$> 8,57 \leq 12,87$	$> 5,83 \leq 8,51$	$> 63,46 \leq 113,49$	$> 43,53 \leq 77,66$
Classe de Folíolos Grandes	$> 12,87$	$> 8,51$	$> 113,49$	$> 77,66$

Observou-se que, para cada cm^2 de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de $9,37 \pm 0,23 \text{ cm}^2$ na área do folíolo, sendo que o comprimento do folíolo explica 86% da área do folíolo. A largura do folíolo explica 88% da área do folíolo, e cada cm de largura estima uma área de $12,68 \pm 0,29 \text{ cm}^2$. O produto entre comprimento e largura do folíolo explica 95% da área do folíolo, e para cada cm^2 do produto estima-se uma área de $0,69 \pm 0,01 \text{ cm}^2$ (Tabela 2).

Esses resultados indicam que o produto entre comprimento e largura do folíolo tem maior capacidade preditiva e menor dispersão, devido ao maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado = 0,98) e menor desvio padrão estimado. Esta informação é ratificada por vários autores (Keramatlou *et al.*, 2015; Tondjo *et al.*, 2015; Cai; Di Jin., 2017; Liu *et al.*, 2017), que estudaram o ajuste de modelos de regressão para estimar a área foliar de espécies vegetais a partir de medidas de comprimento e largura foliar.

Tabela 2 - Coeficientes \pm erros padrão, valor F calculado e coeficiente de determinação ajustado dos modelos de regressão entre a área observada dos folíolos e as dimensões lineares dos folíolos do Feijão-caupi, variedade Paulistinha. Sumé, PB, 2023.

Modelos	Coeficientes e estatísticas dos modelos			
	β_0	β_1	F _{calculado}	R ² _{Ajustado}
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times C$	-43,21 \pm 2,58	9,37 \pm 0,23**	1659,66	0,86
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times L$	-32,27 \pm 2,18	12,68 \pm 0,29**	1866,12	0,88
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times CL$	1,85 \pm 0,86	0,69 \pm 0,01**	5236,83	0,95

AFE – Área foliar estimada; β_0 - coeficiente linear da regressão; β_1 e β_2 - coeficientes angulares da regressão; C - comprimento do folíolo; L - largura do folíolo; F - valores calculados do teste de Fisher; R^2 - coeficiente de determinação ajustado.

A procura por aumento de produção para atender a demanda ocasionada pelo crescimento populacional, possui duas barreiras: alcance do potencial produtivo dos genótipos e limitação na abertura de novas áreas. O avanço em novas áreas agrícolas, pensando na preservação dos ecossistemas, não é a melhor opção. Sendo assim, manejos que busquem otimizar os recursos e diminuir a lacuna produtiva nas lavouras é a melhor opção. Neste sentido, o ajuste de modelos para estimativa de área foliar dos novos genótipos de feijão-caupi contribui para o incremento de tecnologias no campo visando aumento de produção da cultura (SOUZA *et al.*, 2014).

Estudos para estimativa da área foliar de diversas culturas por meio de modelos alométricos, utilizando o comprimento, a largura e o produto do comprimento pela largura, são realizados, sendo as estimativas em que se utiliza apenas o comprimento ou a largura as mais indicadas, pois diminuem assim, as chances de erros experimentais, uma vez que reduz o número de variáveis aferidas, além de otimizar o tempo de avaliação (FIGUEIREDO *et al.*, 2012).

Em trabalhos objetivando estimar a área foliar de pupunheiras (RAMOS *et al.*, 2008), e girassol (AQUINO *et al.*, 2011) foram encontradas diferenças nas estimativas das áreas foliares por meio das relações alométricas, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. Essas diferenças alométricas podem ser associadas às condições climáticas, idade das folhas, características nutricionais e de desenvolvimento da cultura. Isso justifica o fato dos modelos apresentarem certa inconstância, ou seja, valores de R^2 diferentes de 1.

Carvalho e Christoffoleti (2007) consideram essas diferenças normais, e salientaram que nesse sentido, supõe-se que a disponibilidade de luz para atividade fotossintética é um dos fatores que mais pode alterar o tamanho das folhas e, também, a estimativa do parâmetro.

Resultados semelhantes foram observados por (ARAÚJO *et al.*, 2005) em estudos realizados com as cultivares de mangueira Tommy Atkins e Haden. Ao estimarem a área foliar pela regressão linear utilizando o comprimento, a largura e o produto do comprimento pela largura, também encontraram que as estimativas em que se utilizou o produto do comprimento pela largura apresentaram maior precisão, com valor de R^2 igual a 0,99 para a cv. Haden e 0,93 para a cv. Tommy Atkins, e encontraram menor precisão quando utilizaram apenas uma das medidas lineares.

Lima *et al.* (2008), trabalhando com a cultura do feijão-caupi, verificaram que as equações que envolveram duas medidas, a soma e o produto, apresentaram melhor ajuste. Esses resultados mostram que todos os modelos apresentaram uma elevada precisão no processo de estimativa da área foliar, sendo constatados também nos trabalhos de Toebe *et al.* (2012) e Lima *et al.* (2008) para cultura de feijão.

6 CONCLUSÃO

Os modelos alométricos podem ser usados com alta precisão para estimar a área foliar do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] variedade paulistinha com o método não-destrutivo, a partir das medições lineares de comprimento, largura e o produto do folíolo.

A área foliar dos folíolos dessa variedade pode ser estimada pelo modelo $AFE = 1,85 + 0,69 \times CL$.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M, HASTENREITER, FA, FLUMIGNAN, DL & FARIA, RT 2008, **Estima-tiva de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares**, *Bragantia*, vol.67, no.4, pp.1053-1058.
- ARAÚJO, E.C.E.; SANTOS, E.P. dos; PRADO, C.H.B. de A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.27, n.2, p.308-309, 2005.
- AQUINO, L. A.; SANTOS JÚNIOR, V. C.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. *Bragantia*, v.70, n.4, p.832-836, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Roma: FAO**, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- APOLO-APOLO, O. E.; PÉREZ-RUIZ, M.; MARTÍNEZ-GUANter, J.; EGEEA, G. **A mixed data-based deep neural network to estimate leaf area index in wheat breeding trials**. *Agronomy*, v. 10, n. 175, p. 1-21, 2020.
- Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, v. 7, n. 3 (2019/20). Brasília: **CONAB**, 2019. p. 64.
- Blanco, F.F.; Folegatti, M.V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira, Brasília*, v.21, n.4, p.666-669, outubro/dezembro 2003.
- BADIANI, F. A.; DIOUF, M.; DIOUF, D. Cowpea. In: Singh M, Bischt IS, Dutta M, editors, *Broadening the Genetic Base of Grain Legumes*. **Springer India**, 2014.
- BOUCHENAK, M.; LAMRI-SENHADJI, M. Nutritional Quality of Legumes, and Their Role in Cardiometabolic Risk Prevention: A Review. *Journal of Medicinal Food*, v.16, n. 3, p. 1-14, 2013.
- CÓRCOLES, AD, MAGESAN, E., SRINIVASAN, SJ, CROSS, AW, STEFFEN, M., GAMBETTA, JM E CHOW, JM (2015). Demonstração de um código de detecção de erro quântico usando uma rede quadrada de quatro qubits supercondutores. *Nature Communications*, 6, 6979.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 8-safra 2020/2021, nono levantamento, junho 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Décimo segundo levantamento de grãos. Safra 2018/2019. **Brasília: Conab**, v.6, 2019. 126p.
- CAMARA, F. T. DA; MOTA, A. M. D.; NICOLAU, F. E. DE A.; PINTO, A. A.; SILVA, J. M. F. da. Produtividade de feijão-caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.5, p.19-24, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A, TOEBE, M, BURIN, C, FICK, AL, NEU, IMM & FACCO, G 2012, Estimativa de área foliar de mucuna cinza por meio de método não-destrutivo, **Ciência Rural**, vol.42, no.2, p.238-242.

COELHO FILHO, MA, ANGELOCCI, LR, VASCONCELOS, MRB & COELHO, EF 2005, Estimativa da área foliar de plantas de lima acida 'tahiti' usando métodos não-destrutivos, **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol.27, no.1, p. 163-167.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v.25, p.317-324, 2007.

FILHO, F.R. F., & COSTA, A. F. (2020) Feijão-caupi: classificação botânica e importância. In: **Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco**, 17(3), 17-20.

FIGUEIREDO, E. S.; SANTOS, M. E.; GARCIA, A. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nucleus**, v.9, n.1, p.79-84, 2012.

FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; Y GARCÍA, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, **Brasília**, v.37, n.6, p.769- 773, jun. 2002.

FLUMIGNAN, DL, ADAMI, M & FARIA, RT 2008, Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital, **Coffee Science**, vol.3, no.1, p.1-6.

FERREIRA, OGL, ROSSI, FD, VAZ, RZ, FLUCK, AC, COSTA, OAD & FARIAS, PP 2017, Leaf area determination by image analysis, **Archivos de Zootecnia**, vol. 66, no. 256, pp. 593-597.

FLUMIGNAN, DL, ADAMI, M & FARIA, RT 2008, Área foliar de folhas in-tegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital, **Coffee Science**, vol.3, no.1, pp.1-6.

FANCELLI, A. L. Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e sementes de milho (*Zea mays* L.). **Piracicaba: Esalq**, 1988. 172 p. Tese de Doutorado.

GOMES, ASPECTOS NUTRITIVOS DE FEIJÕES CRIoulos CULTIVADOS NO VALE DO JURUÁ, ACRE, BRASIL. **Enciclopédia Biosfera**, 2017.

GOMES, A. M. F.; RODRIGUES, A. P.; ANTÓNIO, C.; RODRIGUES, A. M.; LEITÃO, A. E.; BATISTA-SANTOS, P.; NHANTUMBO, N.; MASSINGA, R.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; RAMALHO, J. C. Drought response of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. **Environmental and Experimental Botany**, v. 175, p. e 104060, 2020.

GEREN, H. et al. **Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass. African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 22, p. 4100-4104, 2008.

GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. **Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2019.**

GODOY, L.J.G., YANAGIWARA, R.S., BOAS, R.L.V., BACKES, C & LIMA, CP 2007, Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”, **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 29, no.3, pp. 420-424.

HERNANDÉZ-FERNANDEZ, IA, JARMA-OROZCO, A. E POMPELLI, MF (2021). Modelos alométricos para medição não destrutiva da área foliar da estêvia: uma análise profunda e completa. **Horticultura Brasileira**, 39, 205-215.

HOLGUÍN, V. A. Estimation of leaf area of *Tithonia diversifolia* using allometric equations. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, 22:231-238, 2019.

HUSSAIN, S.; GAO, K.; DIN, M.; GAO, Y.; SHI, Z.; WANG, S. Assessment of UAV-Onboard Multispectral Sensor for non-destructive site-specific rapeseed crop phenotype variable at different phenological stages and resolutions. **Remote Sens**, v. 12, n. 397, p. 2-19, 2020.

HEUZE, V.; TRAN, G.; BASTIANELLI, D.; LEBAS, F. Cowpea (*Vigna unguiculata*) forage. **Feedipedia. A program by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Rome: Food and Agriculture Organization**, 2015.

ILKAEI, MN, PAKNEJAD, F, ZAVAREH, M, ARDAKANI, MR & KASHANI, A 2011, Prediction model of leaf area in soybean (*glycine max l.*) **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, vol. 6, no. 1, pp.110-113.

JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B.C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

JADOSKI, SO, LOPES, EC, MAGGI, MF, SUCHORONCZEK, A, SAITO, LR & DE-NEGA 2012, Método de determinação da área foliar da cultivar de batata ágata a partir de dimensões lineares, **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 33, sup. 1, pp. 2545-2554.

KERAMATLOU, I. et al. A simple linear model for leaf area estimation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). **Scientia Horticulturae**, 184:36-39, 2015.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; OLIVEIRA FILHO, A.F. Modelos matemáticos para estimativa da área foliar de feijão-caupi. **Revista Caatinga, Mossoró**, v.21, n.1, p.120-127, 2008.

LIU, S., BARET, F., ABICHOU, M., MANCEAU, L., ANDRIEU, B., WEISS, M. E MARTRE, P. (2021). Importância da descrição da interceptação luminosa em modelos de crescimento de culturas. **Plant Physiology**, 186, 977-997.

- LI-COR. LI 3100 area meter instruction manual. Lincoln: LI-COR, 1996. 34p.
[LEI Nº 10.711, DE 5 DE AGOSTO DE 2003](#). Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.711.htm. Acesso em: 20 de Dezembro de 2022.
- LUDWIG, D. S. The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. **The Journal of the American Medical Association**, v. 287, n.18, p. 2414-2423, 2002.
- LUCENA, RRM, BATISTA, TMV, DOMBROSKI, JLD, LOPES, WAR & RODRIGUES, GSO 2011, Medição de área foliar de aceroleira, **Revista Caatinga**, vol.24, no.2, pp.40-45.
- MATTOS, EM, BINKLEY, D., CAMPOE OC, ÁLVARES, CA E STAPE, JL (2020). Variação na estrutura da copa, área foliar, interceptação luminosa e eficiência no uso da luz entre clones de Eucalyptus. **Forest Ecology and Management**, 463, 118038.
- MEDEIROS, W. R.; SILVA, J. D. DA C.; SILVA, P. R. R.; GIRÃO-FILHO, J. E.; PADUA, L. E. DE M. FRANÇA, S. M. de. Resistência de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] ao ataque do caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: Chrysomelidae). **Entomobrasilis**, v.10, p.19-25, 2017.
- MENDONÇA, C. A.; BARROSO NETO, A. M.; BERTINI, C. H. C. M.; AMORIM, M. Q.; ARAÚJO, L. B. R. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, p. 485-493, 2015.
- MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D. S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C. E. M. Estimação da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de Passiflora. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 662-667, 2013.
- MACÁRIO, A. P. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; BRITO NETO, J. F.; MELO, A. S.; DANTAS NETO, J. Allometric models for estimating Moringa oleifera leaflets area. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e005220, 2020.
- MARQUARDT, D. W. **Generalized inverse, ridge regression and biased linear estimation. Technometrics**, 12:591-612, 1970.
- MELO, F. DE B.; SOUZA, HA DE; BASTOS, EA; CARDOSO, MJ Níveis críticos e faixas de suficiência para diagnóstico de nutrientes foliares em feijão-caupi cultivado na região Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v.51, p.1-9, 2020.
- OLIVEIRA, M. C. et al. Development and characterization of cake made with a mixture of cowpea and rice flours. **African Journal of Food Science**, v. 14, n. 11, p.378-384, 2020.
- PADULOSI, Stefano. Genetic diversity, taxonomy and ecogeographic survey of the wild relatives of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. 1993. Tese de Doutorado. UCL Université Catholique de Louvain.
- PAIVA, A. L. S. **Respostas bioquímicas do feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] ao estresse salino e infecção pelo vírus do mosaico severo do caupi (CPSMV) reveladas**

pela proteômica quantitativa livre de marcação. 2015. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Ceará.

PERAZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. F.; AQUINO, M. M.; SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v. 43, n. 10, p. 1171-1176, out., 2013. Disponível em: Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/331/33128114007/>>.

PÚBLIO JÚNIOR, E.; MORAIS, O. M.; ROCHA, M. M.; PÚBLIO, A. P. P. B.; BANDEIRA, A. S. Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Científica**, v.45, n.3, p.223-230, 2017.

RAMOS, A.; BOVI, M. L. A.; FOLEGATTI, M.V.; DIOTTO, A. V. **Estimativas da área foliar e da biomassa aérea da pupunheira por meio de relações alométricas.** **Horticultura Brasileira**, v.26, n.1, p.138-143, 2008.

LIMA, C.J.D.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; OLIVEIRA FILHO, A.F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.1, p.120-127, 2008.

ROCHA, M. M. et al. **Yield adaptability and stability of semi-prostate cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP.** **Revista Ciência Agronômica**, v.48, p.879-888, 2017b.

ROCHA, M. M. et al. **Feijão-caupi: Biologia Floral. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte**, 2007. SOUZA, L. F.; ARAÚJO, M. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; MEDEIROS, A. S.; MAGALHÃES, I. D. Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 33-40, 2019.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, p. 591-609, 1965.

SABOURI, H. E SAJADI, S. (2022). Processamento de imagem e estimativa de área de folhas de chia (*Salvia hispanica* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) e melão amargo (*Momordica charantia* L.) com base em métodos estatísticos e inteligentes. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, 30, 100382.

SANTOS, JNB, JARMA-OROZCO, A., ANTUNES, WC, MENDES, KR, FIGUEIROA, JM, PESSOA, JM E POMPELLI, MF (2021). Novas abordagens para prever a área foliar de espécies arbóreas lenhosas da Mata Atlântica, Brasil. **Austral Ecology**, 46, 613-626, 2021.

SAUCEDA-ACOSTA, CP, GONZALEZ-HERNANDEZ, VA, SANCHEZ-SOTO, BH, SAUCEDA-ACOSTA, RH, RAMIREZ-TOBIAS, HM E QUINTANA-QUIROZ, JG (2017). MACF-IJ, método automatizado para medição de cor e área foliar por meio de imagens digitais. **Agrociência**, 51, 409-423.

SILVA, G. C.; MAGALHÃES, R. C.; SOBREIRA, A. C.; SCHMITZ, R.; SILVA, L. C. **Dry grain yield and production components in cowpea genotypes under irrigated and rainfed cultivation.** **Agro@ambiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2016.

SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; LIMA, A. C. S.; VELOSO, M. E. S.; SILVA, L. S. Controle de insetos-praga do feijão-caupi na savana de Roraima. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, p. 212-219, 2011.

SOUZA, L. F. et al. Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds for agroecological cultivation. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 14(1):33-40, 2019.

SAMIREDDYPALLE, A. et al. Cowpea and groundnut haulms fodder trading and its lessons for multidimensional cowpea improvement for mixed crop livestock systems in west Africa. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 30, p. 1-9, 2017.

SIMION, T. Breeding Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for quality traits. **Annals of Reviews and Research**, v. 3, n. 3 p. 1-7, 2018.

SILVA, WL, COSTA, JPR, CAPUTTI, GP, GALZERANO, L & RUGGIERI, AN 2013, Medidas lineares do limbo foliar dos capins xaraés e massai para a estimativa da área foliar, **Biotemas**, vol. 26, no. 3, pp. 11-18.

SOUSA, LF, SANTOS, JGD, ALEXANDRINO, E, MAURÍCIO, RM, MARTINS, AD & SOUSA, JTL 2015, Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais, **Archivos de Zootecnia**, vol.64, no. 245, pp. 83-85.

SBRISSIA, AF & SILVA, SC, 2008, Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua, **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 37, no.2, pp. 212-220.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; BECKER, F. S.; SOUZA, E. R. B.; VERA, R. Propriedades físicas e químicas de grãos de feijões crioulos vermelhos. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 28, n. 1, p. 263-269, jan./mar., 2015. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/331/33128114007/>.

TEOBALDELLI, M.; BASILE, B.; GIUFFRIDA, F.; ROMANO, D.; TOSCANO, S.; LEONARDI, C.; RIVERA, C. M.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Analysis of cultivar-specific variability in size-related leaf traits and modeling of single leaf area in three medicinal and aromatic plants: *Ocimum basilicum* L., *Mentha* Spp., and *Salvia* Spp. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2020b.

TAVARES-JÚNIOR, J.E.; FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; MAIA, A.H.N.; FAZOULI, L.C.; BERNARDES, M.S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia, Campinas**, v.61, n.2, p.199-203, 2002.

TEOBALDELLI, M.; ROUPHAEL, Y.; GONNELLA, M.; BUTTARO, D.; RIVERA, C. M.; MUGANU, M.; COLLA, G.; BASILE, B. Developing a fast and accurate model to estimate allometrically the total shoot leaf area in grapevines. **Scientia Horticulturae**, v. 259, p. e 108794, 2020a.

TOEBE, M.; FILHO, A.C.; BURIN, C.; FICK, A.L.; MARIO, I.; NEU, M.; CASAROTTO, G.; ALVES, B.M. Modelos para a estimação da área foliar de feijão de porco por dimensões foliares. **Bragantia, Campinas**, v.71, n.1, p.37-41, 2012.

TOEBE, M ET AL. 2012, Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares, Semina: **Ciências Agrárias**, vol. 33, no. 1, pp. 2491-2500.

TOEBE, M, BRUM, B, LOPES, SJ, FILHO, AC & SILVEIRA, TR 2010, Estimativa da área foliar de crambe abyssinica por discos foliares e por fotos digitais, **Ciência Rural**, vol.40, no.2, pp.475-478.

TONDJO, K. et al. **Non-destructive measurement of leaf area and dry biomass in *Tectona grandis* Trees**, 29:1625-1631, 2015.

VARELA, A. L. N.; OLIVEIRA, J. T. A.; KOMATSU, S.; SILVA, R. G. G.; MARTINS, T. F.; SOUZA, P. F. N.; LOBO, A. K. M. VASCONCELOS, I. M.; CARVALHO, F. E. L.; SILVEIRA, J. A. G. **A resistant cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotype became susceptible to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) after exposure to salt stress. *Journal of Proteomics***, v. 194, n. 1, p. 200-217, 2019.

WANG, Y. et al. **Empirical models for measuring the leaf area and leaf mass across growing periods in broadleaf species with two life histories. *Ecological Indicators***, 102:289-301, 2019.

WINSTON, W. **Microsoft Excel data analysis and business modeling. Microsoft press**, 2016.

ZEIST, AR, OLIVEIRA, JRF, LIMA FILHO, RB, SILVA, MLS & RESENDE, JTV 2014, Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro, **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, vol. 20, no. 1/2, pp. 33-41.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed**, 2013. 954p.