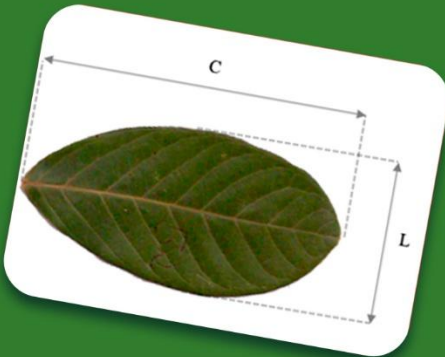
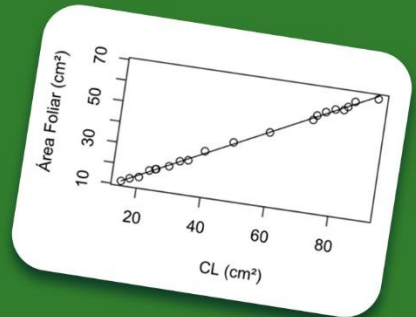


Edilson Romais Schimldt
Vinicius de Souza Oliveira
Sara Dousseau-Arantes



MODELAGEM DA ÁREA FOLIAR INDIVIDUAL

1ª Edição



São José dos Pinhais
BRAZILIAN JOURNALS PUBLICAÇÕES DE PERIÓDICOS E EDITORA
2023



Edilson Romais Schmildt
Vinicius de Souza Oliveira
Sara Dousseau-Arantes
Organizadores



**Modelagem da área
foliar individual**

1º Edição

**Brazilian Journals Editora
2023**

2023 by Brazilian Journals Editora
Copyright© Brazilian Journals Editora
Copyright do Texto© 2023 Os Autores
Copyright da Edição© 2023 Brazilian Journals Editora
Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim
Diagramação: Sabrina Binotti Alves
Edição de Arte: Os Autores
Revisão: Os Autores

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Profª. Drª. Fátima Cibele Soares - Universidade Federal do Pampa, Brasil.

Prof. Dr. Gilson Silva Filho - Centro Universitário São Camilo, Brasil.

Prof. Msc. Júlio Nonato Silva Nascimento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil.

Profª. Msc. Adriana Karin Goelzer Leining - Universidade Federal do Paraná, Brasil.

Prof. Msc. Ricardo Sérgio da Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Prof. Esp. Haroldo Wilson da Silva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil.

Prof. Dr. Orlando Silvestre Fragata - Universidade Fernando Pessoa, Portugal.

Prof. Dr. Orlando Ramos do Nascimento Júnior - Universidade Estadual de Alagoas, Brasil.

Profª. Drª. Angela Maria Pires Caniato - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

Profª. Drª. Genira Carneiro de Araujo - Universidade do Estado

da Bahia, Brasil.

Prof. Dr. José Arilson de Souza - Universidade Federal de Rondônia, Brasil.

Prof^a. Msc. Maria Elena Nascimento de Lima - Universidade do Estado do Pará, Brasil.

Prof. Caio Henrique Ungarato Fiorese - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Silvana Saionara Gollo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Mariza Ferreira da Silva - Universidade Federal do Paraná, Brasil.

Prof. Msc. Daniel Molina Botache - Universidad del Tolima, Colômbia.

Prof. Dr. Armando Carlos de Pina Filho- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Brasil.

Prof^a. Msc. Juliana Barbosa de Faria - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil.

Prof^a. Esp. Marília Emanuela Ferreira de Jesus - Universidade Federal da Bahia, Brasil.

Prof. Msc. Jadson Justi - Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Alexandra Ferronato Beatrice - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil.

Prof^a. Msc. Caroline Gomes Mâcedo - Universidade Federal do Pará, Brasil.

Prof. Dr. Dilson Henrique Ramos Evangelista - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil.

Prof. Dr. Edmilson Cesar Bortoletto - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

Prof. Msc. Raphael Magalhães Hoed - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil.

Prof^a. Msc. Eulália Cristina Costa de Carvalho - Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Prof. Msc. Fabiano Roberto Santos de Lima - Centro Universitário Geraldo di Biase, Brasil.



Profª. Drª. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Prof. Dr. Helder Antônio da Silva, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil.

Profª. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai.

Profª. Drª. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil.

Profª. Drª. Carolina de Castro Nadaf Leal - Universidade Estácio de Sá, Brasil.

Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes - Universidade do Vale do Rio do Sino, Brasil.

Prof. Dr. Richard Silva Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense, Brasil.

Profª. Drª. Ana Lúcia Tonani Tolfo - Centro Universitário de Rio Preto, Brasil.

Prof. Dr. André Luís Ribeiro Lacerda - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

Prof. Dr. Wagner Corsino Enedino - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

Profª. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil.

Prof. Dr. José Alberto Yemal - Universidade Paulista, Brasil.

Profª. Drª. Adriana Estela Sanjuan Montebello - Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

Profª. Msc. Onofre Vargas Júnior - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil.

Profª. Drª. Rita de Cássia da Silva Oliveira - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.

Profª. Drª. Leticia Dias Lima Jedlicka - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil.

Profª. Drª. Joseina Moutinho Tavares - Instituto Federal da Bahia, Brasil

Prof. Dr. Paulo Henrique de Miranda Montenegro - Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

Prof. Dr. Claudinei de Souza Guimarães - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Christiane Saraiva Ogradowski - Universidade Federal do Rio Grande, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Celeide Pereira - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

Prof^a. Msc. Alexandra da Rocha Gomes - Centro Universitário Unifacvest, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Djanavia Azevêdo da Luz - Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Prof. Dr. Eduardo Dória Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Prof^a. Msc. Juliane de Almeida Lira - Faculdade de Itaituba, Brasil.

Prof. Dr. Luiz Antonio Souza de Araujo - Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Prof. Dr. Rafael de Almeida Schiavon - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Rejane Marie Barbosa Davim - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

Prof. Msc. Salvador Viana Gomes Junior - Universidade Potiguar, Brasil.

Prof. Dr. Caio Marcio Barros de Oliveira - Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Ercilia de Stefano - Universidade Federal Fluminense, Brasil.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Modelagem da área foliar individual / Edilson Romais Schmildt, Vinicius de Souza Oliveira, Sara Dousseau-Arantes. -- 1. ed. -- São José dos Pinhais, PR: Brazilian Journals, 2023.

Vários autores.

ISBN: 978-65-6016-001-9

DOI: 10.35587/brj.ed.0002124

1. Botânica - Estudo e ensino 2. Plantas - Anatomia 3. Plantas - Classificação 4. Plantas (Botânica) 5. Estatística – Análise de dados I. Schmildt, Edilson Romais. II. Oliveira, Vinicius de Souza. III. Dousseau-Arantes, Sara.

23-155234

CDD-581.4

Brazilian Journals Editora
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil
www.brazilianjournals.com.br
editora@brazilianjournals.com.br

CAPÍTULO 2

MORFOLOGIA DAS FOLHAS E SUA ALOMETRIA

Omar Schmildt

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Produção Vegetal.

Contato: omarschmildt@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7357949702839126>

Jéssica Sayuri Hassuda Santos

Bacharel em Biologia. Contato:

jessicasayurihassuda@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3313279703115133>

Karina Tiemi Hassuda dos Santos

Engenheira Agrônoma, Mestre em Agricultura Tropical.

Contato: karinahassuda@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6801077615817326>

Sara Dousseau-Arantes

Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia/Fisiologia Vegetal, Pesquisadora no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), lotada no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Norte (CPDI Norte).

Contato: saradousseau@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6966978781439168>

Edilson Romais Schmildt

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia, Doutor em Genética e Melhoramento. Professor Titular na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), lotado no Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES).

Contato: e.romais.s@gmail.com; edilson.schmildt@ufes.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0648502408490406>

2.1 Conceitos de alometria

O termo alometria composto das palavras gregas *allos* (outra) e *metron* (medida) foi proposto inicialmente por Huxley e Teissier (1936) ao estudarem o crescimento de caranguejos *Uca pugnax* Smith, acreditando-se que o uso deste termo evitaria confusão na área de crescimento relativo. Com o estudo, os autores queriam entender como o caranguejo crescia para produzir uma quela exageradamente grande, chegando à conclusão de que as características das criaturas vivas mudam desproporcionalmente com o seu tamanho, surgindo assim, o conceito de alometria. Alometria pode ser entendida como o estudo das variações e processos dos organismos, sendo utilizado na descrição das relações quantitativas entre as mudanças que ocorrem no tamanho dos organismos e suas variações nas características morfológicas ou fisiológicas, como o crescimento de uma parte em relação ao todo e das consequências do tamanho na forma do organismo, ajudando no entendimento destas variações (HUXLEY; TEISSIER, 1936; HARVEY; PAGEL, 1991; NIKLAS, 1994).

O conceito de alometria passou ao longo dos anos por várias adaptações, sendo mencionado por Gould (1966), o qual destaca a divisão em quatro subgrupos, e que, segundo

Gayon (2000) e Pereira (2013) são conhecidos até então: alometria ontogenética, refere-se ao crescimento relativo de um indivíduo; alometria filogenética, refere-se às razões de crescimento diferencial constantes em linhagens; alometria intraespecífica, refere-se a indivíduos adultos dentro de uma espécie ou a uma dada população local; alometria interespecífica, refere-se a algum tipo de fenômeno entre espécies relacionadas. Conforme as divisões, a alometria pode ser utilizada tanto em estudos com animais, micróbios, como em estudos de plantas (HILL *et al.*, 2012).

2.2 Alometria foliar

Neste capítulo, será abordada a alometria em plantas, procurando mostrar a importância deste estudo na morfologia das folhas de diferentes tamanhos. Neste contexto, a morfologia enfatiza estudar a forma e estrutura das plantas (GONÇALVES; LORENZI, 2011), sendo, portanto, empregado no estudo da alometria, o qual correlaciona mudanças na forma e no tamanho geral (HUXLEY; TEISSIER, 1936; PEREIRA, 2013).

A folha é chamada morfologicamente de “completa” quando possui bainha, pecíolo e limbo, apesar de serem pouco comuns folhas que apresentem conjuntamente estas

três estruturas, o que significa dizer que a maioria das folhas são “incompletas”. A sua composição é bastante variável entre as plantas, podendo ser constituída por uma única estrutura, com ou sem recortes, ou formadas por subunidades, que podem também estar subdivididas. Conforme este critério, a folha pode ser classificada em simples, quando apresenta o limbo não dividido, ou composta, quando o limbo está dividido em subunidades denominadas folíolos. Os folíolos, por sua vez, podem também estar subdivididos em foliólulos e, neste caso a folha é denominada recomposta (SOUZA *et al.*, 2013).

2.3 Variação na alometria foliar em função do genótipo

Os diversos tamanhos, formatos e estruturas das folhas são utilizados para classificação e identificação sistemática dos vegetais, incluindo desde as estruturas e modificações presentes, à disposição das folhas no caule, e até mesmo quanto à forma, ápice, bordo, base e divisão do limbo (VIDAL; VIDAL 2003; MARTINS-DA-SILVA *et al.*, 2014). Neste sentido, para a contextualização, será dado mais enfoque ao limbo, pois é o mesmo que é usado na estimativa da área foliar, onde é possível mensurar por meio das suas dimensões lineares, isto é, seu comprimento (C),

maior largura (L), ou o produto destes (CL), a área foliar por meio de equações obtidas a partir do estudo de modelos matemáticos ajustados a essas medidas (SOUZA *et al.*, 2014).

Considerando que existem diferentes formatos do limbo, a equação de regressão recomendada para uma espécie vegetal ou um genótipo pode não o ser para outro (AMES *et al.*, 2016). Desta forma, citaremos a seguir, alguns exemplos de trabalhos de modelagem de área foliar, com diferentes formatos de folhas e para tal usaremos a classificação de Vidal e Vidal (2003), com abordagens quanto à divisão do limbo, em simples ou compostas. Para as folhas simples têm-se a classificação quanto à forma do limbo, e quanto à nervação. Já para as folhas compostas, a classificação é quanto aos tipos.

Folhas simples - possui limbo único, não dividido em folíolo (Figura 1):

- Forma ovada. Oliveira *et al.* (2019c) para pera Triunfo (*Pyrus communis* L.) indicaram a equação $AFE = -0,432338 + 0,712862CL$

- Forma elítica. Santos *et al.* (2019) na modelagem para estimar a área foliar do clone LB1 de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) a partir de mudas

produzidas em sacolas plásticas e em tubetes indicaram a equação $AFE = 1,157364 + 0,646417CL$.

- Forma bilobulada. Schmildt *et al.* (2016c) na modelagem da área foliar de pata de vaca (*Bauhinia monandra* Kurz) indicaram $AFE = 01,0332(C)^{1,9191}$, sendo C o comprimento de um dos lóbulos simétricos da folha.

- Nervação peltinérvea. Severino et al (2004) fizeram modelagem matemática para a estimativa de área foliar de mamona (*Ricinus communis* L.) em que a equação indicada envolvia o comprimento da nervura principal (CNP) e o comprimento médio das nervuras laterais (CMNL): $AFE = 0,2439(CNP + CMNL)^{2,0598}$

- Nervação palminérvea. Campostrini e Yamanishi (2001) estudando a modelagem da área foliar em quatro cultivares de mamoeiro (*Carica papaya* L.) a partir do comprimento da nervura central foliar (NCF) indicaram $AFE = 0,315 + 1,85 \log NCF$, que pode ser usado tanto para os genótipos do grupo “Solo” quanto para o grupo “Formosa”.

- Nervação paralelinérvea. Bianco *et al.* (2001) na modelagem da área foliar de capim colônia (*Panicum maximum* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs) recomendaram $AFE = 0,6058CL$

Figura 1 - Folhas simples (As fotos não estão em escala).



Pera



Café



Pata de vaca



Mamona



Mamão



Capim coloniã

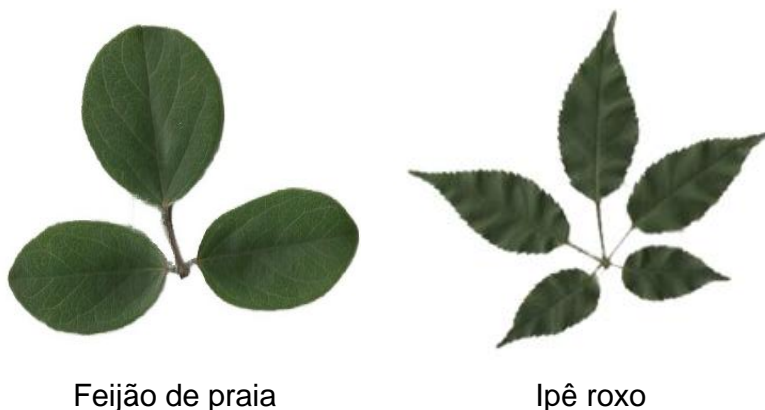
Fonte: Os autores

Folhas compostas - o limbo é dividido em folíolos (Figura 2):

- Tipo trifoliolada. Pinheiro et al (2019) a partir da modelagem a área foliar de folhas compostas de mudas de feijão da praia [*Canavalia rosea* (Sw.) DC.]: $AFE = 2,2951(CL)^{0,9471}$, sendo CL obtido a partir do folíolo central.

- Tipo digitada. Santos et al (2020) a partir da modelagem da área foliar de ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart.), indicaram $AFE = 8,7772 + 2,3840CL$, sendo AFE para a folha completa a partir de CL do quinto folíolo (folíolo central).

Figura 2 - Folhas compostas (As fotos não estão em escala).



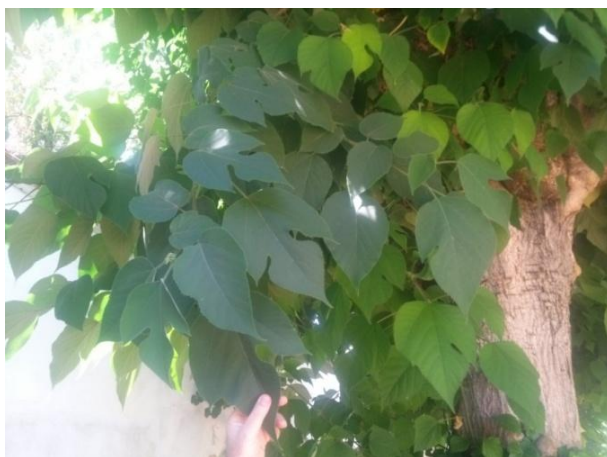
Feijão de praia

Ipê roxo

Fonte: Os autores

As diferenças existentes na morfologia do limbo em uma mesma planta tornam-se um desafio ao pesquisador na busca de um modelo alométrico único que represente a área foliar das diferentes formas das folhas da espécie. Nesse aspecto, uma das espécies de maior variabilidade quanto à morfologia de folhas é a espécie *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit ex Vent., também conhecida como amoreira de papel (Figura 3).

Figura 3 - Diferenças na morfologia das folhas de *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit ex Vent. popularmente conhecida como amoreira de papel. Acima folhas de diferentes morfologias na mesma árvore, e abaixo, folhas de diferentes morfologias retiradas em uma mesma árvore (As fotos não estão em escala).





Fonte: Os autores

2.4 Variações na alometria foliar em função do ambiente

Os agentes estressores bióticos ou abióticos impõem limitações para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, que por serem organismos sésseis, desenvolveram diversos mecanismos moleculares, bioquímicos, fisiológicos e morfológicos para sobreviverem (SRIKANT; DROST, 2021). Essas respostas frente às condições ambientais adversas ou estressantes podem ser observadas ao nível de indivíduos (aclimatação) ou de espécies e populações (adaptação) (SCHULZE *et al.*, 2018). A habilidade das plantas de alterarem a morfologia e a fisiologia dos órgãos em resposta ao ambiente é conhecida como plasticidade fenotípica (SCHLICHTING, 1986; LIMA *et al.*, 2017).

A folha é o órgão vegetativo das plantas que mais apresenta polimorfismo e adaptação ao ambiente (MEDRANO; FLEXAS, 2003). A morfologia foliar pode variar

dentro da espécie, em função do estágio de desenvolvimento da planta e das condições ambientais (FRITZ; ROSA; SICARD, 2018). A plasticidade foliar tem sido relatada para diversas espécies em função de alterações nos fatores abióticos, como excesso de radiação solar, sombreamento, frio, calor, salinidade, seca, alagamento, toxicidade de metais pesados, excesso ou escassez nutricional e fatores bióticos, como espécies invasoras, predação por insetos e patógenos.

A luminosidade, a temperatura e a umidade regulam a alometria foliar e interferem nas trocas gasosas e na exposição à radiação, afetando a fotossíntese, a transpiração e a termorregulação (FRITZ; ROSA; SICARD, 2018). De maneira geral, a forma das folhas se adapta para maximizar a absorção de energia e minimizar os danos causados pelos estresses ambientais (FRITZ; ROSA; SICARD, 2018).

A maior exposição à radiação solar induz o desenvolvimento de folhas menores e mais espessas, como ocorre em função da posição dentro da copa (KUSI; KARSAI, 2019) ou no dossel da floresta (LEME *et al.*, 2020). Por outro lado, plantas com maior tolerância à sombra aumentam a área foliar específica (com maior área e mais finas), resultando em maior interceptação da radiação solar por unidade de carbono investida na construção do tecido foliar (BALLARÉ; PIERIK, 2017).

Os extremos térmicos alteram a alometria foliar para amortecer a variação da temperatura foliar (termorregulação) e maximizar o ganho de carbono foliar (MICHALETZ *et al.*, 2016). Folhas pequenas estão associadas a ambientes quentes, secos e com alta radiação incidente, bem como em regiões de altas latitudes e elevações (BAIRD *et al.*, 2021; WRIGHT *et al.*, 2017; YATES *et al.*, 2010). Em ambientes úmidos, quentes e ensolarados predominam espécies com maior tamanho de folha (LIU *et al.*, 2022).

O menor tamanho das folhas aumenta a capacidade de perda de calor por condução/convecção e melhoram o resfriamento quando a baixa disponibilidade hídrica impede a perda transpiracional de água (YATES *et al.*, 2010). O tamponamento da variação de temperatura foliar pode ajudar na manutenção das temperaturas foliares próximas do ótimo metabólico e maximizar as taxas de assimilação líquida de carbono (MICHALETZ *et al.*, 2016).

O déficit hídrico ocorre quando a taxa de transpiração da superfície da folha é maior do que a absorção de água pelas raízes e pode ser causado por vários motivos, incluindo baixa pluviosidade, salinidade, altas e baixas temperaturas e alta intensidade de luz (SALEHI-LISAR; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016; SANTOS *et al.*, 2022). Muitas espécies reduzem o desenvolvimento foliar sob déficit hídrico e

produzem folhas pequenas, estratégia comumente relacionada com a redução da área transpirante para a manutenção do conteúdo de água (ANJUN *et al.*, 2017). As plantas podem ainda induzir alterações na forma e/ou no ângulo foliar em função da seca, como estratégia para reduzir a fotoinibição e o aquecimento causado pelo excesso de interceptação da energia luminosa em combinação com o fechamento estomático (ROCKWELL; SAGE, 2022).

O alagamento reduz o suprimento de oxigênio e causa acidose nas raízes levando a queda na energia celular, o que inibe a atividade das aquoporinas e interrompe o fluxo hidráulico através das raízes culminado em declínio na condutância estomática e na fotossíntese (DOMECH *et al.*, 2021). O fechamento estomático regula as perdas de água por evaporação frente à capacidade de absorção de água pelas raízes e é uma importante estratégia para a proteção da integridade de todo o sistema hidráulico da planta (DOMECH *et al.*, 2021).

As plantas alagadas exibem também alterações estruturais que em conjunto com os ajustes fisiológicos auxiliam na manutenção do fluxo hidráulico (DOMECH *et al.*, 2021). Um importante mecanismo morfológico em espécies tolerantes ao alagamento é a formação de aerênquimas radiculares, que melhoram o armazenamento e a difusão de

oxigênio, reduzindo os efeitos do estresse (FUKAO *et al.*, 2019). A parte aérea das plantas alagadas também é afetada e tem-se redução na área foliar e indução de senescência precoce das folhas (NASRULLAH *et al.*, 2022). Dependendo da espécie o formato do limbo pode variar conforme o ambiente, como as plantas aquáticas que produzem folhas altamente recortadas e delgadas quando submersas e quando atingem a superfície da água, produzem folhas com expansão do limbo e margens mais lisas (FRITZ; ROSA; SICARD, 2018).

A redução na área foliar também pode ocorrer em função da variação na fração mineral, como salinidade (ZHAO *et al.*, 2021), metais pesados (SALEH *et al.*, 2020) e deficiência nutricional (MU; CHEN, 2021). A salinidade causa estresse osmótico que diminui o potencial hídrico foliar e a pressão de turgor, reduzindo o conteúdo de água nas células, além disso, causa também estresse iônico e oxidativo, que desequilibra a absorção de nutrientes e desintegra as membranas e ultraestruturas (ARIF *et al.*, 2020). Diversos metais pesados como arsênico, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio causam estresse oxidativo e dano celular que reduz o crescimento e o desenvolvimento das plantas sensíveis (GOYAL *et al.*, 2020).

A deficiência nutricional induz redução da área foliar por meio de vários mecanismos, que dependem da função do elemento mineral envolvido. Os macronutrientes são demandados em maior quantidade pelas plantas e afetam o desenvolvimento foliar e a capacidade fotossintética (BANG *et al.*, 2021). O nitrogênio é o nutriente demandado em maior quantidade e a redução na sua disponibilidade provoca redução na fotossíntese e na área foliar e induz senescência das folhas (MU; CHEN, 2021). A redução nos teores de fósforo provoca maior alocação de biomassa para as raízes do que para a parte aérea, resultando em redução na área foliar e no número de folhas (KIM; LI, 2016). A deficiência de potássio altera a morfologia das células do mesófilo e inibe a expansão da folha, o que leva a diminuição na área foliar antes da limitação na taxa fotossintética (HU *et al.*, 2020). O cálcio é o principal componente da parede celular e a deficiência deste nutriente acarreta lesões necróticas nas margens e pontas das folhas e causa deformação no limbo (BANG *et al.*, 2021).

De forma geral, nota-se que ocorre uma redução na área foliar frente às limitações dos recursos ambientais. Segundo Maggio *et al.* (2018), a redução do crescimento frente às limitações de recursos é a estratégia de evitação do estresse mais amplamente conservada entre as espécies

vegetais uma vez que plantas menores demandam menos energia e esqueletos de carbono para sobreviver frente às condições estressantes. Além disso, em função de um controle genético, várias espécies alteram o formato das folhas, fenômeno conhecido como heteroblastia foliar, muitas vezes relacionado com a mudança da fase juvenil para a adulta, como observado em *Eucalyptus globulus* Labill. (LUCANI *et al.*, 2019) e *Passiflora edulis* Sims (SILVA *et al.*, 2019).

2.5 Modelos alométricos para estimar a área foliar

Como relatado anteriormente, o estudo da alometria em folhas é realizado por meio de estimativa da área foliar por diferentes modelos matemáticos na intenção de se obter a equação de regressão que melhor representa a área foliar a partir de medidas lineares do limbo foliar. Podem ser utilizados os modelos alométricos lineares nos parâmetros (regressão linear simples, quadrática, cúbica), ou não linear nos parâmetros (regressão potência, exponencial). Embora menos frequente, modelos não lineares usados na modelagem do crescimento de plantas podem ser usados como Gauss, Lorentz (JADOSKI *et al.*, 2012).

A estimativa da área foliar é comumente utilizada em estudos agrônômicos e fisiológicos com o objetivo de se

avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas (KVET; MARSHALL, 1971; AMARAL *et al.*, 2009). No capítulo 1 são apontadas inúmeras funções das folhas e sua relação com a produtividade das culturas conhecida a muito tempo. Conforme ocorre o aumento da área foliar é propiciado um aumento na capacidade da planta de aproveitar a energia solar para a realização da fotossíntese e, desta forma, pode ser utilizado para avaliar a produtividade (LUCCHESI, 1987). O índice de área foliar pode, ainda, ser utilizado na estimativa da evapotranspiração e das emissões biogênicas (GONZALEZ-SANPEDRO *et al.*, 2008).

Modelos alométricos na determinação da estimativa de área foliar, a partir de dimensões lineares do limbo foliar, como o comprimento (C), largura (L) e produto destes (CL) utilizados para várias condições diferentes, como por exemplo, os ambientes de cultivos, as épocas de coletas das folhas, os genótipos, as idades das plantas, as posições das folhas na planta, são demonstrados em trabalhos de pesquisas, podendo ser obtidas uma única equação matemática (alométrica) ou mais, como a seguir:

Diferentes ambientes de cultivos: Schmildt *et al.* (2017b) estudaram o cacauzeiro (*Theobroma cacao* L. cv. PH-16) de cinco anos de idade, em cultivo a pleno sol e sombra, constatando que há diferenças na morfologia das folhas para

os diferentes ambientes, no entanto, estes ambientes não afetam estatisticamente o intercepto dos modelos linear e potência linearizado, podendo assim utilizar a modelagem pelo uso conjunto de folhas dos dois ambientes. O modelo mais adequado de equação alométrica para a estimativa de área foliar é a potência $AFE = 0,6736 (CL)^{1,0036}$, que pode ser utilizado para folhas de qualquer ambiente. Schildt *et al.* (2017a) trabalharam com cherimoya (*Annona cherimola* Mill. cv. Fino de Jete), em ambiente aberto e cultivo protegido, indicando usar a mesma equação para os dois ambientes e com grande precisão, tanto o modelo linear $AFE = - 6,1172 + 0,7416 (CL)$, quanto o modelo quadrático $AFE = - 9,1710 + 4,4273 (L) - 0,9309 (L)^2$;

Diferentes épocas de coletas das folhas: Pezzini *et al.* (2018) realizaram dois experimentos com *Cajanus cajan* (L.) Mill. No primeiro com seis amostragens, aos 36, 42, 50, 56, 64 e 72 dias após a emergência (DAE). No segundo foram sete amostragens, aos 29, 36, 43, 49, 57, 65 e 70 DAE. O modelo linear $AFE = - 0,4088 + 1,6669 (CL)$ é preferível ser utilizado devido à sua simplicidade. O modelo potência $AFE = 5,2508 (L)^{1,7868}$ pode ser utilizado também, com uma pequena redução na precisão, sendo menos trabalhoso pois requer apenas uma medida alométrica. Leite *et al.* (2019) estudaram *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., conhecido popularmente

como milheto com o objetivo de estimar a área foliar de dois genótipos (IPA BULK 1 BF e ADR 300) com a coleta das folhas em 6 épocas diferentes (15, 30, 45, 60, 75 e 90 DAE), em intervalos de 15 dias. A equação obtida para ambos os genótipos foi $AFE = 0,879 (CL)^{0,971}$;

Diferentes genótipos: Schmildt *et al.* (2015) estudaram cinco variedades clonais de *C. canephora*: Emcapa 8111, Emcapa 8121, Emcapa 8131, Emcapa 8141 e Incaper 8142, ambas com cinco anos de idade. De acordo com os resultados encontrados, concluíram que o modelo alométrico linear $AFE = 0,6723 + 0,6779 (CL)$ de área foliar pode ser indicado para todas as variedades. Ames e Olmstead (2016) trabalharam com 3 genótipos de uva, 'Blanc Du Bois', 'Carlos', e 'Southern Home', ambos de 5 anos de idade. Os resultados evidenciaram equações diferentes para a determinação da área foliar de cada genótipo, como a seguir: 'Blanc Du Bois' $AFE = 0,62956(CL) + 1,61775$ e $AFE = 0,732743(CL)^{0,970638}$; 'Carlos' $AFE = 0,6323(CL) + 0,17525$ e $AFE = 0,59073(CL)^{1,0818}$; e 'Southern Home' $AFE = 0,5542(CL) - 0,4293$ e $AFE = 0,4155(CL)^{1,0612}$;

Diferentes idades das plantas: Carvalho *et al.* (2017) estudaram *Crotalaria juncea* L. cv. IAC-KR1, em diferentes idades. As avaliações para determinação da área foliar foram feitas em duas safras, considerando-se cada safra como um

experimento. Na safra de 2014, as folhas foram coletadas aos 59, 82, 102, e 129 dias após a semeadura, e na safra de 2015 coletas aos 61, 80, 92, e 104 dias após a semeadura. O modelo alométrico linear $AFE = 0,7390 (CL)$ é o mais adequado para estimativa da área foliar, independente da safra estudada. Severino *et al.* (2004) trabalharam com plantas de *Ricinus communis* L. de diferentes idades, desde uma semana até mais de um ano. Segundo os autores o modelo mais confiável para a determinação de área foliar de mamoneira é $AFE = 0,2439 (P + T)^{2,0898}$, onde P é o comprimento da nervura principal, e T a média do comprimento das duas nervuras laterais. As equações $AFE = 0,3526 (P + T)^2$ e $AFE = 0,1515 (C + T)^2$ também são bastante confiáveis e de cálculo mais simples;

Diferentes posições das folhas na planta: Schmildt *et al.* (2016a) estudaram macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & E. Betcher) cv. HAES 344, de 22 anos de idade, para diferentes posições das folhas nas plantas. No experimento a parcela foi constituída dos pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) de uma planta, e as subparcelas de três posições na planta (terços inferior, médio e superior). A modelagem estatística de área pode ser feita com uso de folhas amostradas de quaisquer dos quatro pontos cardeais e posições de altura nas plantas, sendo a equação linear $AFE =$

1,6635 + 0,6968 (CL) indicada para a determinação da área foliar.

Nos exemplos citados acima, nem todos os trabalhos usaram critérios estatísticos para se determinar a diferença entre os genótipos, ambientes, etc. A análise de covariância para os coeficientes linear e angular da reta (modelos lineares simples, potência e exponencial linearizado) é realizada para verificar se uma mesma equação pode ser utilizada para mais de uma situação. Schmildt *et al.* (2016b) em seu estudo no qual determina a área foliar de *Passiflora mucronata* Lam. utilizando folhas colhidas de plantas cultivadas em casa de vegetação e no campo, realizou uma análise de covariância a fim de verificar a possibilidade de utilizar apenas uma equação de cada modelo para as folhas dos dois ambientes. A análise de covariância mostrou que foi possível ajustar um modelo que atendesse ambos os ambientes, este modelo foi $AFE = 1,8963 (L)^{1,7275}$

Misgana *et al.* (2018) em seu trabalho de modelagem de estimativa de área foliar em oito genótipos de *Coffea arabica* L. em três altitudes diferentes, usando análise de covariância, verificaram a possibilidade de estimar uma equação para as três altitudes e os oito genótipos. A equação encontrada foi $AFE = 0,6434 LW$, onde L é o comprimento e W a largura da folha, com $R^2 = 0,9993$.

Diante do exposto verifica-se que o maior desafio é obter equações para estimar a área foliar de plantas de interesse agrônomo levando em consideração os efeitos dos fatores ambientais e as características genéticas que controlam a alometria foliar. Por este motivo, estimula-se os pesquisadores a continuarem explorando essa área do conhecimento, fazendo a modelagem estatística a fim de se estimarem as equações que melhor expliquem o crescimento alométrico de suas folhas diante das interações entre genótipos e ambientes.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J.A.T.; AMARAL, J.F.T.; SCHMILDT, E.R.; COELHO, R.I. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: FERREIRA, A.; LIMA, A.B.P.; MATTA, F.P.; AMARAL, J.A.T.; LOPES, J.C.; PEZZOPANE, J.E.M.; FERREIRA, M.F.S.; POLANCZYK, R.A.; SOARES, T.C.B. (Org.). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCA-UFES, 2009. p.259-276.

AMES, Z.R.; OLMSTEAD, M.A. Estimation of Leaf Area for 'Blanc Du Bois' *Vitis* spp., 'Carlos' *Vitis rotundifolia*, and 'Southern Home' *Vitis rotundifolia* × *Vitis vinifera* Using Simple Linear Measurement. **Journal of Horticulture**, v.3, n.3, p.1,4, 2016.

ANJUM, S. A.; ASHRAF, U.; ZOHAIB, A.; TANVEER, M.; NAEEM, M.; ALI, I.; TABASSUM, T.; NAZIR, U. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 104, n. 3, p. 267–276, 2017. DOI 10.13080/z-a.2017.104.034

ARIF, YAMSHI; SINGH, PRIYANKA; SIDDIQUI, HUSNA; BAJGUZ, ANDRZEJ; HAYAT, SHAMSUL. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>

BAIRD, A. S.; TAYLOR, S. H.; PASQUET-KOK, J.; VUONG, C.; ZHANG, Y.; WATCHARAMONGKOL, T.; SCOFFONI, C.; EDWARDS, E. J.; CHRISTIN, P.-A.; OSBORNE, C. P.; SACK, L. Developmental and biophysical determinants of grass leaf size worldwide. **Nature**, v. 592, p. 242–247, 2021. DOI: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03370-0>

BALLARÉ, C. L.; PIERIK, R. The shade-avoidance syndrome: multiple signals and ecological consequences. **Plant, Cell &**

Environment, v. 40, n. 11, p. 2530-2543, 2017. DOI:
<https://doi.org/10.1111/pce.12914>

BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PERECIN, D. Estimativa da área foliar de *Panicum maximum* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v.19, n.2, p.217-221, 2001.

CARVALHO, J.O.; TOEBE, M.; TARTAGLIA, F.L.; BANDEIRA, C.T.; TAMBARA, A.L. Leaf area estimation from linear measurements in different ages of *Crotalaria juncea* plants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.89, n.3, p.1851-1868, 2017.

DOMEC, J.-C.; KING, J. S.; CARMICHAEL, M. J.; OVERBY, A. T.; WORTEMANN, R.; SMITH, W. K; MIAO, G.; NOORMETS, A.; JOHNSON, D. M. Aquaporins, and not changes in root structure, provide new insights into physiological responses to drought, flooding, and salinity, **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 12, p. 4489–4501, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1093/jxb/erab100>

FRITZ, M.A.; ROSA, S.; SICARD, A. Mechanisms underlying the environmentally induced plasticity of leaf morphology. **Front. Genet.**, v. 9, n. 478, 2018. DOI:
[10.3389/fgene.2018.00478](https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00478)

FUKAO, T.; BARRERA-FIGUEROA, B. E.; JUNTAWONG, P.; PEÑA-CASTRO, J. M. Submergence and waterlogging stress in plants: a review highlighting research opportunities and understudied aspects. **Front. Plant Sci.**, v. 10, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00340>

GAYON, J. History of the concept of allometry. **American Zoologist**, v.40, p.748-758, 2000.

GONÇALVES, E.G.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia de**

plântulas vasculares. 2 ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2011. 544p.

GONZALEZ-SANPEDRO, M.C.; TOAN, T.L.; MORENO, J.F.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.810-824, 2008.

GOULD, S.J. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. **Biological Reviews**. v.41, p.587-640, 1966.

GOYAL, D.; YADAV, A.; PRASAD, M.; SINGH, T. B.; SHRIVASTAV, P.; ALI, A.; DANTU, P. K.; MISHRA, S. Effect of heavy metals on plant growth: an overview. In: NAEEM, M.; ANSARI, A.; GILL, S. (eds). **Contaminants in agriculture: sources, impacts and management**, Springer, Cham. p. 79-101, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_4

HARVEY, P.H.; PAGEL, M.D. **The Comparative Method in Evolutionary Biology**. Oxford: Oxford University Press. 1991, 239p.

HILL, R.W.; WYSE, G.A.; ANDERSON, M. Parte II – Alimento, energia e temperatura: Metabolismo Energético. cap. VI. In: HILL, R.W.; WYSE, G.A.; ANDERSON, M. (Eds). **Fisiologia Animal**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2012. p.143-165.

HU, W.; LU, Z.; MENG, F.; LI, X.; CONG, R.; REN, T.; SHARKEY, T. D.; LU, J. The reduction in leaf area precedes that in photosynthesis under potassium deficiency: the importance of leaf anatomy. **New Phytologist**, v. 227, n. 6, p. 1749-1763, 2020. DOI: 10.1111/nph.16644. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32367581/>. Acesso em jan. 2022.

HUXLEY, J.S.; TEISSIER, G. Terminology of relative growth. **Nature**, v.137, p.780–781, 1936.

JADOSKI, S. O.; LOPES, E. C.; MAGGI, M. F.;
SUCHORONCZEK, A.; SAITO, L. R.; DENEGA, S. Método de
determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir
de dimensões lineares. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina,
v. 33, suplemento 1, p. 2545-2554, 2012. DOI: 10.5433/1679-
0359.2012v33Supl1p2545

KIM, H.-J.; LI, X. Effects of phosphorus on shoot and root
growth, partitioning, and phosphorus utilization efficiency in
Lantana. **HortScience**, v. 51, n. 8, p. 1001-1009, 2016. DOI:
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.8.1001>

KUSI, J.; KARSAI, I. Plastic leaf morphology in three species of
Quercus: The more exposed leaves are smaller, more lobated
and denser. **Plant Species Biology**, v., n. 1, p. 24-37, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12253>

KVET, J; MARSHALL, J.K. Assessment of leaf area and other
assimilating plant surfaces. In: ŠESTÁK, Z.; CATSKY, J.;
JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: manual of
methods**. The Hague: Dr. Junk N.V. Publishers., 1971. p. 517-
555.

LEITE, M.L.M.V.; LUCENA, L.R.R.; CRUZ, M.G.; SÁ JÚNIOR,
E.H.; SIMÕES, V. J.L.P. Leaf area estimate of *Pennisetum
glaucum* by linear dimensions. **Acta Scientiarum Animal
Sciences**, v.41, n.1, p.e42808, 2019.

LEME, G. M.; RAMOS, F. N.; PEREIRA, F. J.; POLO, M. High
levels of anatomical and physiological leaf plasticity of *Ocotea
odorifera* (Lauraceae) in response to different radiation
intensities. **Botany**, v. 99, n. 1, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0128>

LIMA, N.R.W.; SODRÉ, G.A.; LIMA, H.R.R.; PAIVA, S.R.;
LOBÃO, A.Q.; COUTINHO, A.J. Plasticidade fenotípica.
Revista de Ciência Elementar. v.5, n.2, p.1-7, 2017.

LIU, Z.; ZHAO, M.; ZHANG, H.; REN, T.; LIU, C.; HE, N. Divergent response and adaptation of specific leaf area to environmental change at different spatio-temporal scales jointly improve plant survival. **Global Change Biology**, v. 29, n. 4, p. 1144-1159, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16518>

LUCANI, C.J., BRODRIBB, T.J., JORDAN, G.J. *et al.* Juvenile and adult leaves of heteroblastic *Eucalyptus globulus* vary in xylem vulnerability. **Trees**, v. 33, p.1167–1178, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01851-4>

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.1-11.

MAGGIO, A.; BRESSAN, R. A.; ZHAO, Y.; PARK, J.; YUN, D.-J. Affiliations expand *et al.* It's hard to avoid avoidance: Uncoupling the evolutionary connection between plant growth, productivity and stress “tolerance”. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, p. 3671, 2018. DOI: 10.3390/ijms19113671. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30463352/>. Acesso em fev. 2022.

MARTINS-DA-SILVA, R.C.V.; SILVA, A.S.L.; FERNANDES, M.M.; MARGALHO, L.F. **Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica**. 1. Ed. Embrapa Amazônia Oriental-Livro científico (ALICE), 2014, 111p.

MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Fijación del dióxido de carbono e biosíntesis de fotoasimilados. In: AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. (Eds). **Fundamentos de fisiologia vegetal**. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.: Edicions Universiat de Barcelona, 2003. p.173-185.

MICHALETZ, S.; WEISER, M.; MCDOWELL, N.; ZHOU, J.; KASPARI, M.; HELLIKER, B. R.; ENQUIST, B. J. The energetic and carbon economic origins of leaf thermoregulation. **Nature Plants** **2**, 16129, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.129>

MU, X.; CHEN, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 76-82, 2021. DOI: [10.1016/j.plaphy.2020.11.019](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33296848/>. Acesso em: jan. 2022.

NASRULLAH; ALI, S.; UMAR, M.; SUN, L.; NAEEM, M.; YASMIN, H.; KHAN, N. Flooding tolerance in plants: from physiological and molecular perspectives. **Braz. J. Bot.**, v. 45, p. 1161–1176, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00841-0>

NIKLAS, K.J. **Plant allometry**: the scaling off or mand process. Chicago: University of Chicago Press, 1994, 395p.

OLIVEIRA, V.S.; COVRE, A.M.; GOUVEA, D.S.; CANAL, L.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, J.S.H.; SANTOS, G.P.; PINHEIRO, A.P.B.; SCHMILDT, O.; POSSE, R.P.; CZEPAK, M.P.; ARANTES, S.D.; ALEXANDRE, R.S.; AMARAL, J.A.T.; VITÓRIA, E.L.; SCHMILDT, E.R. Determination of the leaflet area of *Schinus terebinthifolius* Raddi in function of linear dimensions. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.14, p.198-204, 2019.

OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, K.T.H.; MORAIS, A.L.; SANTOS, G.P.; SANTOS, J.S.H.; SCHMILDT, O.; CZEPAK, M.P.; GONTIJO, I.; ALEXANDRE, R.S.; SCHMILDT, E.R. Non-destructive method for estimating the leaf area of pear cv. 'Triunfo'. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.7, p.14-21, 2019.

PEREIRA, W.R.L.S. Alometrias em toda parte. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v.6, n.1, p.78-101, 2013.

PINHEIRO, A.P.B.; OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, J.S.H.; SANTOS, G.P.; SILVA, J.V.G., JARDIM, A.S.; LONGUE, L.L.; NUNES, S.S.; AZEVEDO, A.L.R.; PIRES, F.R.; FERNANDES, A.A.; SCHMILDT, O.; CZEPAK, M.P.; SCHMILDT, E.R. Estimation leaf area by composite leaves of *Canavalia rosea* seedlings through linear dimensions from last leaflet, **Journal of Agricultural Science** v.11, n.9, p.299-308, 2019. DOI: 10.5539/jas.v11n9p299

POSSE, R.P.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M.G.; GOTTARDO, R.D. Total leaf area of papaya trees estimated by a nondestructive method. **Scientia Agricola**, v.66, n.4, p.462-466, 2009.

RINEIRO, A.M.A.S.; MUNDIM, D.A.; MENDONÇA, D.C.M.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, J.S.H.; OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, G.P.; ROSA, L.V.C.A.F.; SANTANA, W.R.; SCHMILDT, O.; VITÓRIA, E.L.; SCHMILDT, E.R. Leaf area estimation of garden boldo from linear dimensions. **Journal of Agricultural Science**, v 11, n.5, p.461-469, 2019.

ROCKWELL, F.; SAGE, R. F. Plants and water: the search for a comprehensive understanding. **Annals of Botany**, v. 130, n. 3, p. i–viii, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcac107>

SALEH, S. R.; KANDEEL, M. M.; GHAREEB, D.; GHONEIM, T. M.; TALHA, N. I.; ALAOUI-SOSSÉ, B.; ALEYA, L.; ABDEL-DAIM, M. Wheat biological responses to stress caused by cadmium, nickel and lead. **Science of The Total Environment**, v. 706, p. 136013, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136013>

SALEHI-LISAR, S. Y.; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Drought Stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In: HOSSAIN, M.; WANI, S.; BHATTACHARJEE, S.; BURRITT, D.; TRAN, L.S. (eds). **Drought stress tolerance in plants**, Springer, Cham. v. 1, p. 1–16, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-28899-4_1

SANTOS, G.P.; OLIVEIRA, V.S.; SCHMILDT, O; SOUZA, J.M.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, J.S.H.; NASCIMENTO, A.L.; AMARAL, J.A.T; AMARAL, J.F.T.; SCHMILDT, E.R. Modelagem da área foliar para mudas de cafeeiro conilon LB1 em diferentes recipientes de cultivo. **International Journal of Development Research**, v.9, n.10, p.30851-30855, 2019.

SANTOS, J.S.H.; SANTOS, K.T.H.; OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, G.P.; MENEZES, L.F.T.; CZEPAK, M.P.; FALQUETO, A.R.; AOYAMA, E.M.; SCHMILDT, O; SCHMILDT, E.R. Regression models for prediction of leaf area in purple ipe [*Tabebuia impetiginosa* (Mart.)]. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.4, p.654-659, 2020.

SANTOS, T. B. dos; RIBAS, A. F.; SOUZA, S. G. H. de; BUDZINSKI, I. G. F.; DOMINGUES, D. S. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A Review. **Stresses**, v. 2, n. 1, p. 113-135, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>

SCHLICHTING, C.D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecological and Systematics**, v.17, p.667-693, 1986.

SCHMILDT, E.R.; AMARAL, J.A.T.; SANTOS, J.S.; SCHMILDT, O. Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.4, p.740-748, 2015.

SCHMILDT, E.R.; HUESO, J.J.; PINILLOS, V.; STELLFELDT, A.; CUEVAS, J. Allometric models for determining leaf area of 'Fino de Jete' cherimoya grown in green house and in the open field. **Fruits**, v.72, n.1, p.24-30, 2017a.

SCHMILDT, E.R.; OLIARI, L.S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R.S.; BRUMATTI, J.A.; VIANA, D.G. Determinação da área foliar de macadâmia a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.10, n.3, p.209-216, 2016a.

SCHMILDT, E.R.; OLIARI, L.S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R.S.; PIRES, F.R. Determinação da área foliar de *Passiflora mucronata* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.10, n.4, p.351-354, 2016b.

SCHMILDT, E.R.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R.S.; FERNANDES, A.A.; CZEPAK, M.P. Modelos alométricos na determinação da área foliar de *Bauhinia monandra* Kurz. **Comunicata Scientiae**, v.7, n.3, p.415-419, 2016c.

SCHMILDT, E.R.; TREVISAN, E.; BELIQUE, M.; SCHMILDT, O. Modelos alométricos para determinação da área foliar de cacaueteiro 'PH-16' em sombreamento e pleno sol. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.11, n.1, p.47-55, 2017b.

SCHULZE, ED., BECK, E., BUCHMANN, N., CLEMENS, S., MÜLLER-HOHENSTEIN, K., SCHERER-LORENZEN, M. General themes of molecular stress physiology. *In: Plant Ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-56233-8_2

SEVERINO, L.S.; CARDOSO, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.8, n.1, p.753-762, 2004.

SEZER, I.; ONER, F.; MUT, Z. Non-destructive leaf area measurement in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Environmental Biology**, v.30, n.5, p.785-790, 2009.

SILVA, Priscila O.; BATISTA, D. S.; CAVALCANTI, J. H. F.; KOEHLER, A. D.; VIEIRA, L. M.; FERNANDES, A. M.; BARRERA-ROJAS, C. H.; RIBEIRO, D. M.; NOGUEIRA, F. T. S.; OTONI, W. C. Leaf heteroblasty in *Passiflora edulis* as revealed by metabolic profiling and expression analyses of the microRNAs miR156 and miR172. **Annals of Botany**, v. 123, n. 7, p. 1191-1203, 2019.DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz025>

SOUZA, A.P.; SILVA, A.C.; LEONEL, S.; SOUZA, M.E.; TANAKA, A.A. Estimativas da área da folha de figueiras 'roxo de Valinhos' usando dimensões lineares do limbo foliar. **Ciência rural**, v.44, n.7, p.1172-1179, 2014.

SOUZA, V.C.; FLORES, T.B.; LORENZI, H. **Introdução à botânica: morfologia**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2013. 223p.

SRIKANT, T.; DROST, H.-G. Stress Facilitates phenotypic innovation through epigenetic diversity. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.606800>. Acesso em: 22 jan. 2022.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017, 858p.

VIDAL, W.N.; VIDAL, M.R.R. **Botânica: Organografia: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2003, 124p.

WRIGHT, I. J.; DONG, N.; MAIRE, V.; PRENTICE, I. C.; WESTOBY, M.; DÍAZ, S.; GALLAGHER, R. V.; JACOBS, B. F.;

KOOYMAN, R.; LAW, E. A.; LEISHMAN, M. R.; NIINEMETS, Ü.; REICH, P. B.; SACK, L.; VILLAR, R.; WANG, H.; WILF, P. Global climatic drivers of leaf size. **Science**, v. 357, p. 917-921, 2017. DOI: 10.1126/science.aal4760.

YATES, M. J.; VERBOOM, G. A.; REBELO, A. G.; CRAMER, M. D. Ecophysiological significance of leaf size variation in Proteaceae from the Cape Floristic Region. **Functional Ecology**, v. 24, n. 3, p. 485-492, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01678.x>

ZHAO, B.; LIU, Q.; WANG, B.; YUAN, F. Roles of phytohormones and their signaling pathways in leaf development and stress responses. **J. Agric. Food Chem.**, v. 69, n. 12, p. 3566–3584, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07908>.

ZHU, J. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, v.167, n.6, p.313-324, 2016.