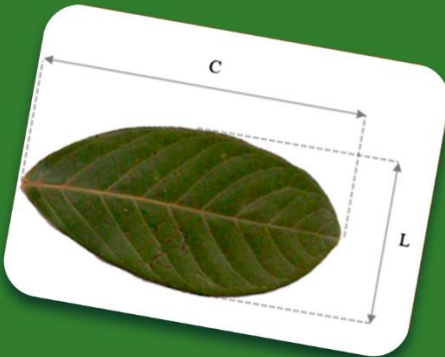
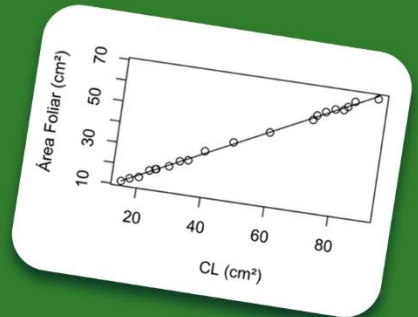


Edilson Romais Schimdt
Vinicius de Souza Oliveira
Sara Dousseau-Arantes



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.



Prof^a. Dr^a. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil.

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

Prof^a. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai.

Prof^a. Dr^a. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil.

Prof^a. Dr^a. 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.

Prof^a. Dr^a. 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.

Prof^a. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil.

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

Prof^a. Dr^a. Adriana Estela Sanjuan Montebello - Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

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

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia da Silva Oliveira - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Leticia Dias Lima Jedlicka - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil.

Prof^a. Dr^a. 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.

Profª. Drª. Christiane Saraiva Ogradowski - Universidade Federal do Rio Grande, Brasil.

Profª. Drª. Celeide Pereira - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

Profª. Msc. Alexandra da Rocha Gomes - Centro Universitário Unifacvest, Brasil.

Profª. Drª. Djanavia Azevêdo da Luz - Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

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

Profª. 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.

Profª. Drª. 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.

Profª. Drª. 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

APRESENTAÇÃO

A determinação da área foliar é utilizada em diversas pesquisas nas áreas das ciências agrárias, biológicas, ambientais e de saúde. Nem sempre a determinação pode ser feita por métodos destrutivos, principalmente quando se avalia o crescimento e o desenvolvimento de plantas. Assim, recorre-se a métodos não destrutivos e dentre esses, os que envolvem a modelagem da área foliar predominam na literatura. Em consequência disso, existem milhares de trabalhos científicos de modelagem da área foliar em diversas espécies.

Apesar da ampla gama de trabalhos científicos envolvendo a modelagem da área foliar, ainda é evidente que são escassos os trabalhos que trazem respostas à algumas perguntas sobre o tema, dentre os quais, enumeramos algumas: a) quais os recursos disponíveis para se medir a área foliar? b) os diferentes recursos têm a mesma eficiência? c) quais os modelos de regressão usar? d) qual o tamanho da amostra para se fazer a estimativa das equações? e) é necessário que seja feita validação? f) qual o tamanho da nova amostra para se fazer a validação? g) como fazer a implementação usando linguagem de computação?

Foi a necessidade das respostas às perguntas acima que motivou a escrita desse livro, intitulado *Modelagem da área foliar individual*. Foi escrito em seis capítulos: 1 – Área foliar: por que conhecer?; 2 – Morfologia das folhas e sua alometria; 3 – Recursos para se determinar a área foliar; 4 - Modelagem da área foliar: Obtenção das equações de estimativa por modelos lineares e não lineares utilizando o ambiente R; 5 - Modelagem: validação; 6 – Tamanho da amostra.

A linguagem de computação apresentada para as análises estatísticas apresentada no capítulo 4, é do ambiente R, que é de domínio público e de código fonte aberto.

Este livro com certeza poderá ser uma excelente fonte de consulta para aqueles que dependem dos trabalhos de modelagem de área foliar de forma não destrutiva.

Os organizadores

ORGANIZADORES



Edilson Romais Schmildt

Professor Titular na UFES desde 2016. Possui graduação em Agronomia pela UFES (1989), mestrado em Fitotecnia (1993) e doutorado em Genética e Melhoramento pela UFV (2000). Entre 2013 e 2014 realizou Pós-Doutoramento, passando pela UFV e Universidad de Almería, na Espanha. É professor nas disciplinas de Estatística Experimental, Genética na Agropecuária e Melhoramento de Plantas, atuando na graduação em Agronomia e Mestrado em Agricultura Tropical. A ênfase de pesquisa é em Análise de Dados e Melhoramento de Plantas.

E-mail: edilson.schmildt@ufes.br



Vinicius de Souza Oliveira

Técnico Agrícola com habilitação em Agricultura formado pelo Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - Campus Itapina (2010). Engenheiro Agrônomo pelo IFES - Campus Itapina (2017). Participou do Programa de Iniciação Científica (PIBIC, 2013 - 2017). Mestre em Agricultura Tropical pela Universidade Federal do Espírito Santo (CEUNES/UFES) (2020). Atualmente doutorando em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo - Campus Alegre (CCAUE/UFES). Tem experiência na área de ciências agrárias

com ênfase em fitotecnia, fruticultura tropical, análise de dados e estatística aplicada à pesquisa agrícola.
E-mail: souzaoliveiravini@gmail.com



Sara Dousseau-Arantes

Possui graduação em Agronomia e Mestrado e Doutorado em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Lavras. É pesquisadora em fisiologia de plantas cultivadas no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural e professora e orientadora no curso de Agronomia no Centro Universitário FAESA e nos programas de pós-graduação em Agricultura Tropical e Biologia Vegetal na Universidade Federal do Espírito Santo e em Ciência, Tecnologia e Educação, na Faculdade Vale do Cricaré. Atua nas linhas de pesquisa de Fisiologia do Crescimento e Desenvolvimento de Plantas, Ecofisiologia Vegetal e Anatomia Vegetal. Atualmente estuda os mecanismos de respostas das plantas aos estresses ambientais e os fatores que induzem o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, visando desenvolver estratégias de manejo para aumento da tolerância aos estresses ambientais e da produtividade e qualidade de frutos de culturas como abacaxizeiro, mamoeiro, cacaueteiro, pimenteira-do-reino e cafeeiro.
E-mail: saradousseau@gmail.com

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	2
ÁREA FOLIAR: POR QUE CONHECER?	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002125	
1. Introdução: a folha no contexto do corpo vegetal	3
1.1 A especialização das folhas para a fotossíntese	6
1.2 A plasticidade fenotípica foliar e a heterofilia	9
1.3 Importância de se conhecer a heterofilia foliar	12
1.4 Heterofilia em função da luminosidade e da concentração de CO ₂	14
1.5 Heterofilia em função do estresse hídrico	17
1.6 Heterofilia em função da variação térmica (ou estresse térmico).....	22
1.7 Heterofilia em função das mudanças de estágio vegetativo para o reprodutivo	26
1.8 Heterofilia em função da produção de bioativos	31
1.9 Heterofilia em função da deficiência nutricional e ao excesso de metais.....	33
CAPÍTULO 2	51
MORFOLOGIA DAS FOLHAS E SUA ALOMETRIA	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002126	
2.1 Conceitos de alometria	52
2.2 Alometria foliar	53
2.3 Variação na alometria foliar em função do genótipo	54
2.4 Variações na alometria foliar em função do ambiente ...	60
2.5 Modelos alométricos para estimar a área foliar	66
CAPÍTULO 3	84
RECURSOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002127	
3.1 Determinação da área foliar de forma destrutiva ou não destrutiva.....	85
3.2 Diferentes métodos de medir a área foliar a ser usada nos estudos de modelagem	86
3.2.1 Papel milimetrado.....	86

3.2.2 Método gravimétrico.....	89
3.2.3 Discos foliares.....	90
3.2.4 Medidor de área foliar LI-COR (Li-Cor, Lincoln, NE, USA).....	91
3.2.5 Medidor de área foliar AM (ADC BioScientific Ltd.®, Hoddesdon, Hertfordshire, England).....	93
3.2.6 Medidor de área foliar Delta (Delta-T Devices Ltd.®, Burwell, Cambridge, England).....	94
3.2.7 Folhas escaneadas.....	96
3.2.8 Foto digital.....	104
3.3 Comparação dos métodos de medição da área foliar .	111
3.4 Recomendações.....	116
CAPÍTULO 4	122
MODELAGEM DA ÁREA FOLIAR: OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA POR MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES UTILIZANDO O AMBIENTE R	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002128	
4.1 Introdução à modelagem.....	122
4.2 Modelo de regressão linear.....	124
4.2.1 Modelo de primeiro grau ou linear simples.....	124
4.2.2 Modelo de segundo grau ou quadrática.....	130
4.3 Modelo de regressão não linear.....	134
4.3.1 Modelo potência.....	135
4.3.2 Exponencial.....	139
CAPÍTULO 5	146
MODELAGEM: VALIDAÇÃO	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002129	
5.1 Introdução.....	146
5.2 Índice de erros.....	148
5.3 Coeficiente de correlação (r) de Pearson.....	150
5.4 Coeficiente de determinação (R ²).....	152
5.5 Índice de concordância (d) de Willmott.....	154
5.6 Índice de desempenho (c) de Carmago e Sentelha.....	156
5.7 Análise de coeficientes.....	157

5.8 Teste t de Student.....	158
CAPÍTULO 6	163
TAMANHO DA AMOSTRA	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002130	
6.1 Existe alguma orientação sobre o número de folhas a serem usados para se estimar as equações?	163
6.2 Por que se tem usado quantidades diferentes de folhas na estimativa das equações?.....	165
6.4 Determinação do tamanho da amostra	186
6.5 Recomendações	192

CAPÍTULO 1

ÁREA FOLIAR: POR QUE CONHECER?

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>

Thiago Corrêa de Souza

Biólogo, Doutor em Agronomia/Fisiologia Vegetal, Professor na Universidade Federal de Alfenas, estando lotado no Instituto Ciências da Natureza (ICN).

Contato: thiago.souza@unifal-mg.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2834667104138232>

José Augusto Teixeira do Amaral

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, com concentração em Fisiologia de Culturas, Professor aposentado da Universidade Federal do Espírito Santo.

Contato: jftamaral@yahoo.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7472064868690386>

José Altino Machado Filho

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal na área de concentração de Fisiologia Vegetal, Pesquisador no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), lotado no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Norte (CPDI Norte).

Contato: altino.incaper@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6970783359192931>

Thayanne Rangel Ferreira

Bióloga, Mestre e Doutoranda em Biologia Vegetal na área de concentração de Fisiologia Vegetal.

Contato: thayannerangel85@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2774515498172723>

Basílio Cerri Neto

Biólogo, Mestre e Doutorando em Biologia Vegetal na área de concentração de Fisiologia Vegetal.

Contato: basiliocerri@yahoo.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6972071879062017>

1. Introdução: a folha no contexto do corpo vegetal

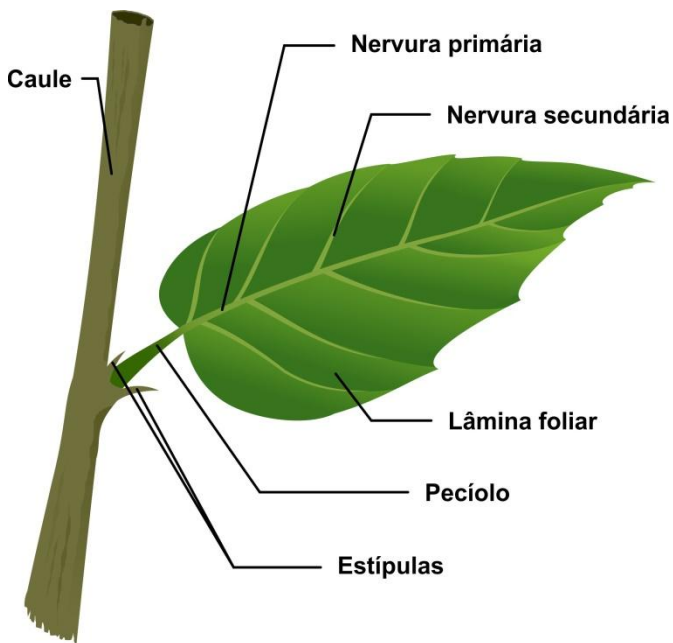
As plantas são organismos capazes de interagir com o ambiente e ajustar o seu crescimento e desenvolvimento para sobreviver as variações ambientais a que são expostas (DEBONO; SOUZA, 2019). As plantas vivem em ambientes em constante mudança que geralmente são desfavoráveis ou estressantes para o crescimento e desenvolvimento (ZHU *et al.*, 2015). Os órgãos vegetais, constituídos pela raiz, caule e folha, são os módulos básicos que formam as plantas terrestres vasculares, possuem origem evolutiva e se especializaram na exploração dos recursos ambientais (HARRISON, 2017).

As raízes ancoram as plantas no chão e possuem padrões de crescimento que possibilitam a exploração do

solo, com morfologia e anatomia específicas adaptadas à captação eficiente e seletiva de água e nutrientes minerais (AUGSTEIN; CARLSBECKER, 2018). O caule possui forma bastante variada, podendo ser altamente ramificado ou em haste única, cujas funções principais são sustentar as folhas maximizando a arquitetura da parte aérea, efetuar o transporte de moléculas orgânicas e inorgânicas e mediar a sinalização entre folhas e raízes (PFAUTSCH; HÖLTTÄ; MENCUCCINI, 2015), além de sustentar a produção de frutos.

As folhas, assim como todos os órgãos acima do solo se originam do meristema apical da parte aérea, durante o desenvolvimento pós-embrionário das plantas (DU; GUAN; JIAO, 2018). São geralmente compostas pelo pecíolo e pelo limbo (lâmina foliar) (Figura 1), mas suas características morfológicas e fisiológicas variam bastante, possibilitando adaptação à diferentes habitats (ICHIHASHI; TSUKAYA, 2015). Possuem um programa básico comum de desenvolvimento, ajustado de maneira flexível às espécies, estádios de desenvolvimento e ambientes (BAR; ORI, 2015).

Figura 1 – Morfologia básica de uma folha evidenciando o pecíolo, lâmina foliar (limbo), nervuras e estípulas.



Fonte: Os autores

A pressão ambiental forçou a especialização das folhas como órgão otimizado para fotopercepção, trocas gasosas, regulação térmica, fotossíntese e transporte de compostos orgânicos e inorgânicos diversos (OGUCHI *et al.*, 2018). Além disso, em algumas espécies as folhas podem ser propágulos (órgãos de reprodução assexuada). Para produzir estruturas que possam cumprir de maneira ideal essas funções, as plantas controlam com precisão o início, a forma

e a polaridade das folhas (DU; GUAN; JIAO, 2018). Portanto, embora os papéis sejam os mesmos, a morfologia e sistemas de desenvolvimento das folhas variam significativamente (TSUKAYA, 2018).

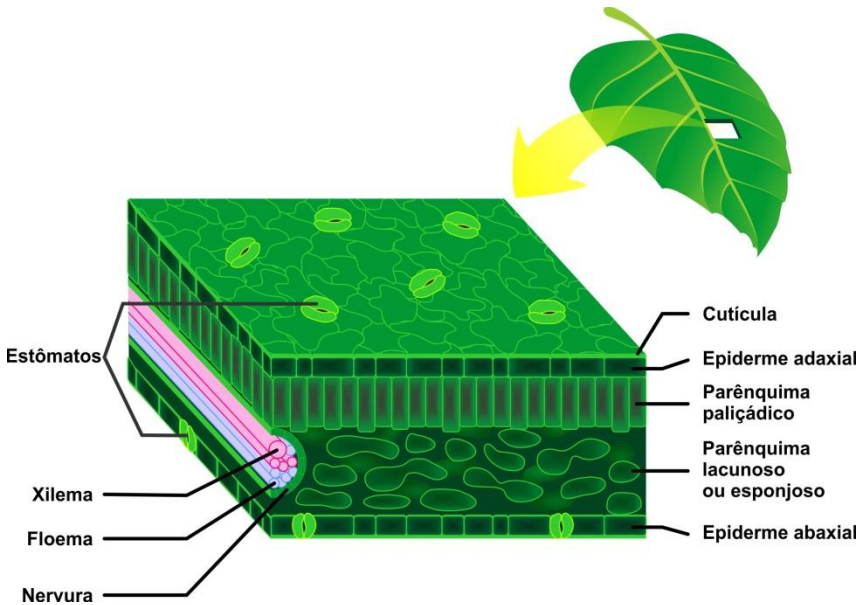
1.1 A especialização das folhas para a fotossíntese

As plantas adquirem a maior parte de sua energia da captura de luz pelas folhas e, por esse motivo, este órgão é especializado em fotossíntese (ICHIHASHI; TSUKAYA, 2015). As folhas evoluíram como órgãos fotossintéticos nas plantas terrestres, embora em algumas angiospermas perderam seu papel fotossintético, por exemplo, em alguns cactos e plantas parasitas (TSUKAYA, 2018). A forma da folha varia entre as espécies e pode ser influenciada por estresses bióticos ou abióticos (TSUKAYA, 2018). Na maior parte das espécies, as folhas são achatadas e funcionam como um painel solar, onde através do processo fotossintético, converte dióxido de carbono e água em carboidratos e oxigênio (DU; GUAN; JIAO, 2018).

O processo fotossintético ocorre dentro dos cloroplastos, organelas distribuídas em todas as partes verdes dos vegetais. Nas folhas estão presentes principalmente nos tecidos do mesofilo (ou clorênquima), que

em diversas espécies compreende os tecidos dos parênquimas paliçádico e esponjoso (Figura 2). A epiderme foliar não possui cloroplastos, exceto nas células guarda dos estômatos.

Figura 2 – Esquema de uma secção transversal evidenciado os tecidos e estrutura anatômica básica de uma folha.



Fonte: Os autores

A primeira etapa da fotossíntese é denominada de fotoquímica e inicia com a interceptação da luz pelo limbo foliar e captura dos fótons pelos pigmentos fotossintéticos ancorados no tilacóide dos cloroplastos. Os fótons energizam os elétrons dos pigmentos fotossintéticos, na captação

fotossintética de luz, com subsequente oxidação fotoquímica da água e transporte de elétrons (OGUCHI *et al.*, 2018), gerando O₂, ferredoxina reduzida, NADPH e ATP. Em seguida os produtos das reações fotoquímicas, ATP e NADPH, dissipam para o estroma dos cloroplastos onde são utilizados na redução enzimática do CO₂ atmosférico ao nível de carboidratos (TAIZ *et al.*, 2017).

A difusão interna do dióxido de carbono da atmosfera ocorre por meio de estruturas denominadas de estômatos (Figura 2), localizados na epiderme dos órgãos fotossintetizantes. A abertura dos poros estomáticos é controlada por células guarda responsivas aos sinais internos e externos, que permitem a regulação do influxo de dióxido de carbono.

Os pigmentos fotossintéticos possibilitam a absorção dos comprimentos de onda da luz que coincidem com o espectro do visível, mas a molécula da clorofila absorve fortemente luz nas regiões do azul (cerca de 430 nm) e do vermelho (cerca de 660 nm) do espectro, de modo que parte da luz verde é refletida o que dá às plantas a coloração verde (TAIZ *et al.*, 2017).

Grande parte da variação nas folhas pode ser explicada pela necessidade de maximizar sua eficiência

fotossintética para a sobrevivência sob determinadas restrições ambientais (TSUKAYA, 2018).

1.2 A plasticidade fenotípica foliar e a heterofilia

A capacidade das plantas de alterarem a morfologia e a fisiologia dos órgãos em resposta às condições ambientais é denominada de plasticidade fenotípica (BRADSHAW, 1965; FORSMAN, 2015). As condições ambientais adversas incluem estresse biótico, como infecção por patógenos e ataque de herbívoros, e estresse abiótico, como secas, calor, frio, deficiência de nutrientes e excesso de sal ou metais tóxicos como alumínio, arseniato e cádmio no solo (ZHU, 2016).

A resposta das plantas a estes fatores ambientais é mediada por mecanismos de sinalização que incluem mensageiros químicos e físicos, como moléculas de RNA, peptídeos e proteínas, fitormônios, sinais elétricos, pressão de turgor, cálcio, óxido nítrico e espécies reativas de oxigênio (CHOI *et al.*, 2017; GILROY *et al.*, 2016; TAKAHASHI; SHINOZAKI, 2019). Os mecanismos de sinalização permitem que as plantas modulem o seu desenvolvimento, respondendo e se adaptando aos fatores ambientais por meio de respostas de curto prazo para evitar danos graves e

adaptações de longo prazo para adquirir tolerância ao estresse em todo o nível da planta (TAKAHASHI; SHINOZAKI, 2019).

Para sobreviver às condições ambientais desfavoráveis, as plantas desenvolveram estratégias para permitir um equilíbrio entre crescimento, reprodução e sobrevivência (PRASCH; SONNEWALD, 2015). A plasticidade tem uma base genética, podendo favorecer a sobrevivência e a colonização de novos ambientes, no entanto, as respostas plásticas nem sempre são necessárias ou suficientes nesses contextos (HENDRY, 2016). Portanto, nem sempre a plasticidade fenotípica pode ser considerada uma vantagem adaptativa, pois além dos limites genéticos, os custos das alterações morfofisiológicas podem ser elevados. De uma maneira geral, quanto maiores as mudanças plásticas e quanto mais inéditas e estressantes forem as condições ambientais, maior o custo da plasticidade (HENDRY, 2016).

A forma dos órgãos das plantas é definida geneticamente, mas possuem plasticidade fenotípica em função das condições ambientais a que são sujeitas. Pode haver um ajuste ao seu ambiente alterando as características fisiológicas das células, a morfologia externa e a anatomia das folhas, caules e raízes, bem como o investimento relativo

da biomassa em cada um desses órgãos (POORTER; RYSER, 2015). No entanto, respostas coordenadas entre raízes e folhas em todo o nível da planta permanecem desconhecidas (TAKAHASHI; SHINOZAKI, 2019). Devido à necessidade de uma quantidade mínima de folhas, caules e raízes para funcionar corretamente, as plantas exibem maior capacidade de alterar sua morfologia do que sua alocação de biomassa (POORTER; RYSER, 2015).

A folha de diversas espécies é um órgão que possui elevada plasticidade, alterando a suas características morfológicas e fisiológicas para otimizar a utilização dos recursos ambientais (ICHIHASHI; TSUKAYA, 2015). Portanto, as folhas se adaptam às condições de desenvolvimento e por este motivo, verifica-se que existe um padrão de tamanho de folhas conforme a distribuição geográfica das plantas. As espécies de folhas grandes predominam em ambientes úmidos, quentes e ensolarados, enquanto as espécies de folhas pequenas são encontradas em altas latitudes e elevações e em ambientes áridos (WRIGHT *et al.*, 2017).

A plasticidade fenotípica exibida como alteração da forma da folha em resposta a condições ambientais é denominada heterofilia (NAKAYAMA; SINHA; KIMURA, 2017). Diversos genes, fitormônios e propriedades mecânicas

modulam o desenvolvimento das folhas (DU; GUAN; JIAO, 2018). Os principais fitormônios envolvidos na heterofilia são as auxinas, as giberelinas, o ácido abscísico e o etileno (NAKAYAMA; SINHA; KIMURA, 2017).

Variações de água, luz, temperatura e salinidade são os principais fatores ambientais que afetam a distribuição geográfica das plantas na natureza, limitam a produtividade das plantas na agricultura e ameaçam a segurança alimentar (ZHU, 2016). Dentre esses fatores, Nakayama, Sinha e Kimura (2017) citam que os mais relacionados com a heterofilia são a intensidade e qualidade da luz, a temperatura e a disponibilidade de água.

1.3 Importância de se conhecer a heterofilia foliar

As folhas são fundamentais para a produção de assimilados e energia utilizados para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a sobrevivência frente aos estresses ambientais. É compreender como as plantas percebem os sinais ambientais e se adaptam a condições adversas são questões biológicas fundamentais (ZHU, 2016). O entendimento dos processos morfológicos e fisiológicos foliares das plantas e como ela responde as condições ambientais auxiliam na definição de estratégias de manejo

mais eficientes, uma vez que possibilita a extrapolação para diferentes condições de cultivo. Além disso, melhorar a resistência ao estresse das plantas é fundamental para a produtividade agrícola e também para a sustentabilidade ambiental, porque as culturas com baixa resistência demandam mais insumos e, portanto, sobrecarregam o meio ambiente (ZHU, 2016). Ou seja, conhecendo as modificações morfofisiológicas das folhas (aqui, ressalta-se a heterofilia) podemos entender os mecanismos de tolerância e encontrar características-chaves para a fenotipagem de plantas a estresses ambientais.

Neste contexto, avaliar a heterofilia em estudos agrícolas e ecológicos auxilia na definição de estratégias de manejo eficiente na preservação ambiental, bem como possibilita estimar a produtividade e a plasticidade das plantas nas comunidades agrícolas ou naturais. A heterofilia foliar pode ser avaliada mediante a medição da área foliar, medida de fácil obtenção e que pode ser avaliada por diversos métodos e com custo reduzido. Com base na área foliar podem ser calculadas diversas relações para se determinar a heterofilia foliar, como área foliar específica (razão entre área da folha fresca e a massa seca da folha), índice de área foliar (razão entre a área foliar total por unidade de solo ocupada) e índice foliar (razão entre comprimento e largura da folha).

Como a estrutura e a função dos órgãos são interligadas, é possível compreender a heterofilia em função das variações ambientais, conhecendo-se as funções deste órgão.

1.4 Heterofilia em função da luminosidade e da concentração de CO₂

Além da fundamental importância da luz na fotossíntese, ela atua também como sinalizador ambiental que informa as plantas sobre o meio ambiente, gerando grandes mudanças no desenvolvimento, respostas como fotomorfogênese, indução fotoperiódica da floração, fototropismo e fuga do sombreamento (GELDEREN; KANG; PIERIK, 2018). Os comprimentos de onda na região do azul, vermelho e vermelho distante do espectro luminoso influenciam diretamente na fotomorfogênese, um processo reprimido e que proporcionam alterações morfológicas que garantem maior eficiência no uso da radiação (CASAL; CANDIA; SELLARO, 2013).

Os fotorreceptores foliares, principalmente os fitocromos e os criptocromos, percebem alterações na razão vermelho/vermelho distante e na região do azul do espectro de luz e induzem alterações na expressão gênica que

suprimem os genes envolvidos nas respostas fotomorfogênicas e as plantas expressam o fenótipo conhecido como “síndrome do estiolamento” (FRANKLIN, 2016). Dentre as características deste fenótipo, verifica-se que a restrição luminosa induz aumento na área foliar, como estratégia para otimizar a interceptação de fótons. As giberelinas são a principal classe hormonal que promove aumento na área foliar (DU; GUAN; JIAO, 2018).

O ambiente restritivo na radiação solar induz direcionamento dos recursos para investimento na expansão do limbo foliar e no crescimento da parte aérea, que pode ser uma estratégia adaptativa, mas que de longo prazo pode se tornar desvantajosa, pois reduz a capacidade reprodutiva. Este tipo de resposta ocorre nas plantas denominadas “plantas de sol”, que desenvolvem a estratégia de fuga ao sombreamento, ou seja, espécies que demandam luz apresentam maior plasticidade (YUAN *et al.*, 2016).

Liu *et al.* (2016) efetuaram um estudo para verificar se a plasticidade da área foliar ajuda as plantas a manter um alto desempenho quando sombreadas, e comprovaram que espécies com maior plasticidade foram menos capazes de manter a biomassa à sombra. Ou seja, houve um investimento em área foliar concomitante a redução da biomassa das plantas.

Em baixa intensidade luminosa, a fotossíntese e, conseqüentemente, o crescimento das plantas são reduzidos (YUAN *et al.*, 2016). Portanto, diversas espécies vegetais apresentam heterofilia em função de variações no ambiente luminoso, tanto a intensidade como a qualidade da radiação (NAKAYAMA; SINHA; KIMURA, 2017). Devido a resposta das plantas em função da radiação, a definição de estratégias de manejo como a densidade de plantio (XUE *et al.*, 2015), manejo de poda (D'ANGELO; BASTOS; CUQUEL, 2017), intensidade de pastejo (WANG *et al.*, 2017) e escolha de arranjos agroflorestais (ZHU *et al.*, 2015), utilizam avaliações dos atributos foliares como variáveis analisadas mostrando sua importância.

O cultivo sob malhas fotosseletivas também afeta as características foliares e, é uma estratégia de manejo utilizada para aumentar a produtividade de hortaliças, como por exemplo, no uso de malha vermelha melhora a produtividade e a qualidade dos frutos do *Solanum lycopersicum* 'Vedetta' (ILIC *et al.*, 2014) e *Capsicum annuum* L. (ILIC *et al.*, 2017).

Esse aumento na área foliar também é induzido pelo aumento na concentração de gás carbônico, também como estratégia para otimizar a captura e aumentar a eficiência da fotossíntese. Porém, da mesma maneira que o observado

pela redução na radiação, observa-se correlação inversamente proporcional entre área foliar e produtividade. Srinivasan, Kumar e Long (2017), citam que o aumento na concentração de gás carbônico devido as mudanças climáticas, faz com que as cultivares de soja atuais tenham maior área foliar e conseqüente menor produtividade. Portanto, sugerem que é necessário investimentos em bioengenharia para desenvolvimento de genótipos com áreas foliares reduzidas.

1.5 Heterofilia em função do estresse hídrico

Nas folhas também ocorre outro processo fisiológico importante para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, que envolve as trocas gasosas de CO_2 e O_2 , incluindo a transpiração, que resulta na perda de água na forma de vapor. O déficit de pressão de vapor é a força motriz da transpiração nas plantas, portanto, temperaturas mais altas aumentam a demanda dos sistemas hidráulicos da planta para transportar água das raízes para os locais de evaporação nas folhas (BLACKMAN *et al.*, 2017).

A abertura estomática potencialmente desidrata a folha, e a capacidade dos estômatos de permanecer abertos para a fotossíntese depende da capacidade da planta de

substituir essa água (SCOFFONI *et al.*, 2016). Portanto, ambientes com limitação hídrica podem limitar severamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Para se adaptar às condições de seca, as plantas desenvolveram evolutivamente diversas estratégias morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (BASU *et al.*, 2016).

Como a maior parte da transpiração da planta ocorre pela via estomática e a grande maioria dos estômatos estão distribuídos nas folhas, a regulação deste órgão é uma via importante de tolerância ao estresse hídrico. Diversas modificações anatômicas podem surgir como estratégias de adaptação das folhas das plantas que se desenvolvem sob limitação hídrica, citando-se as mudanças nas propriedades do xilema, como redução do diâmetro e aumento na densidade; redução no número e tamanho dos estômatos; alteração das propriedades da parede celular e aumento da lignificação das folhas (BASU *et al.*, 2016; BRESTA *et al.*, 2018; SCOFFONI *et al.*, 2016).

Na morfologia externa da folha podem acontecer respostas rápidas para reduzir a transpiração ou de longo prazo, variáveis conforme o genótipo, estágio de desenvolvimento, período e intensidade de estresse. A plasticidade foliar em função do estresse hídrico é de particular interesse, pois a flexibilidade dessas características

ajuda a prever a amplitude das variações climáticas na qual uma planta pode prosperar (CHIN; SILLETT, 2016).

Uma das estratégias de curto prazo é o movimento foliar, que mantém as folhas paralelas a incidência da radiação, reduzindo a temperatura foliar e, conseqüentemente a demanda evaporativa. A redução na área foliar também é uma das estratégias utilizadas para reduzir a transpiração sob déficit hídrico e o ácido abscísico (ABA) está envolvido nesse processo, que pode ser alcançada pela queda de folhas e/ou pela redução no crescimento da parte aérea, seja pelo menor número e tamanho de folhas e de ramos (BASU *et al.*, 2016). A expansão e crescimento celular nas plantas são altamente dependentes da disponibilidade de água, por esse motivo, a redução do turgor em função do déficit hídrico, promove redução no crescimento, principalmente na parte aérea.

Segundo Wolfe, Sperry e Kursa (2016) as folhas atuam como “fusíveis hidráulicos”, que se desprendem quando as plantas atingem um potencial hídrico criticamente baixo, retardando a perda de água, estabilizando o potencial hídrico da planta e protegendo contra a perda de condutividade hidráulica induzida por cavitação dos tecidos de custo mais elevado para a reposição, como o caule e os ramos. Esta queda de folhas também possibilita a eliminação das folhas

menos adaptadas e posterior renovação da copa com estruturas mais adaptadas ao déficit hídrico (FATHI; TARI, 2016). No entanto, essa estratégia também inibe as oportunidades de absorção de CO₂, caso as condições hídricas se recuperem (MANZONI *et al.*, 2015).

Há evidências de que a redução na área foliar aumenta a eficiência do uso da água e, juntamente com outros mecanismos, contribui para uma maior tolerância ao déficit hídrico, conforme observado por He *et al.* (2017), com cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merr.]. Segundo esses autores, cultivares de alto rendimento, em condições de menor disponibilidade hídrica, tem área foliar reduzida e menor transpiração. Por esse motivo, avaliar a área foliar auxilia na definição do manejo hídrico da lavoura, bem como na identificação dos mecanismos de tolerância ao déficit hídrico.

Não só a escassez hídrica, mas também o excesso de água (alagamento ou encharcamento) afeta sobremaneira o crescimento e o desenvolvimento das plantas. As perdas de rendimento resultantes do alagamento dependem do genótipo, do estágio de desenvolvimento, do tipo do solo e da duração do estresse (MUTAVA *et al.*, 2014). A tolerância ao alagamento é complexa e depende de diversos mecanismos

bioquímicos, fisiológicos e morfológicos (LORETI; VEEN; PERATA, 2016).

O alagamento também é um fator de estresse determinante na heterofilia (NAKAYAMA; SINHA; KIMURA, 2017). Espécies de plantas, localizadas ao longo das margens dos rios, onde ocorrem inundações frequentes, possuem folhas estreitas, para que possam suportar a força destrutiva do elevado fluxo da água durante a cheia (TSUKAYA, 2018). A redução na área foliar pode ser considerada uma estratégia adaptativa para tolerar condições de alagamento intermitente. Por outro lado, algumas espécies de plantas podem induzir o movimento foliar através da mudança do ângulo da folha para uma posição mais vertical ou estimular o desenvolvimento da parte aérea para alcançar a superfície, evitando a submersão completa (MUSTROPH, 2018).

A avaliação da área foliar auxilia na identificação de espécies potenciais para serem utilizadas em recomposição da vegetação ribeirinha e outras áreas inundadas temporariamente, conforme Parad *et al.* (2015) observaram trabalhando com *Quercus castaneifolia* C. A. Meyer. Esses autores verificaram que embora tenha havido redução em 40 % na área foliar após 60 dias de alagamento, essa espécie apresentou recuperação para 23 % após 42 dias da

suspensão do alagamento, indicando ser uma espécie promissora para alagamento intermitente.

Diversas espécies de importância econômica apresentam baixa tolerância ao alagamento, com redução no crescimento e desenvolvimento e na produtividade (LORETI; VEEN; PERATA, 2016; MUSTROPH, 2018). Herzog *et al.* (2015) observaram que cultivares de trigo sob alagamento apresentam redução do crescimento da parte aérea, em função do menor perfilhamento, redução nas taxas de crescimento foliar e menor tamanho das folhas. Essa redução na parte aérea afeta o desenvolvimento radicular, forçando um investimento em recursos para a recomposição das raízes após a suspensão do estresse, o que limita o desenvolvimento da parte aérea e a produtividade.

1.6 Heterofilia em função da variação térmica (ou estresse térmico)

O crescimento e o desenvolvimento das plantas também dependem da temperatura, sendo que para cada espécie e estágio de desenvolvimento existe uma faixa de temperatura máxima, ótima e mínima (HATFIELD; PRUEGER, 2015). A temperatura é um fator determinante na heterofilia, sendo muito expressiva para algumas espécies,

como ocorre com *Rorippa aquática* (Eat.) Palmer & Steyermark, que desenvolve folhas profundamente dissecadas a 20 °C, e folhas simples com margens inteiras quando crescem a 25 °C (NAKAYAMA; SINHA; KIMURA, 2017). Em *Cucumis sativus* L. a expansão foliar não depende apenas da temperatura da folha, mas também da diferença entre a temperatura da gema e da folha (SAVVIDES *et al.*, 2017).

A formação das folhas é estimulada pelo aumento da temperatura até a faixa limite para cada espécie (HATFIELD; PRUEGER, 2015). No entanto, essa indução depende diretamente da disponibilidade hídrica e da radiação solar. Segundo Wright *et al.* (2017) diferenças de temperaturas diurnas e noturnas determinam o tamanho das folhas e explicam o padrão geográfico. E relatam que as espécies de folhas grandes predominam em ambientes úmidos, quentes e ensolarados, enquanto espécies de folhas pequenas tipificam ambientes quentes e ensolarados apenas em condições áridas, mas que também são encontradas em regiões frias de altitudes elevadas.

Controlar a temperatura interna da folha é essencial para manter o metabolismo das plantas. As temperaturas dos tecidos vegetais, e não apenas do ar, são vitais para o desenvolvimento das plantas. Por conseguinte, existem

diversos mecanismos de termorregulação foliar para maximizar o ganho de carbono foliar em ambientes variáveis (MICHALETZ *et al.*, 2016). Temperaturas elevadas podem causar danos no aparato fotossintético devido a fotoinibição, enquanto temperaturas baixas restringem as atividades enzimáticas podendo também inibir o processo fotossintético. De algum modo, as folhas possuem diversos mecanismos, que incluem movimento e heterofilia, para controlar a superfície que ficará em contato com o ar circundante, visando reduzir os danos pelos extremos térmicos. Segundo Michaletz *et al.* (2016) a área foliar e a massa seca parecem ser características térmicas centrais que mais influenciam no amortecimento das temperaturas foliares e nas taxas de assimilação.

Além disso, a transpiração foliar não só é a força motriz para a absorção de água e nutrientes, mas também tem a função primordial de regular a temperatura da folha (ADAMS; TERASHIMA, 2018). Condições ambientais que reduzem a abertura estomática, como a limitação hídrica e a elevação na concentração de gás carbônico, elevam substancialmente a temperatura foliar. Em ambientes áridos, as altas temperaturas diurnas associadas a limitação na transpiração devido a disponibilidade hídrica, impõem restrição no

tamanho da folha para evitar o superaquecimento (WRIGHT *et al.*, 2017).

A redução da temperatura induz as plantas a adotarem estratégias de crescimento mais conservadoras, como investir em menor área foliar e maior espessura (HENN *et al.*, 2018). Segundo Wright *et al.* (2017) as reduzidas temperaturas noturnas de ambientes de elevadas altitudes, restringem o tamanho das folhas para diminuir o risco de resfriamento e congelamento. Quando ocorrem as geadas os mesmos efeitos de estresse pelo frio ocorrem, porém de forma mais acentuada. Com a presença do gelo na superfície foliar esse pode se expandir para os espaços intercelulares ocasionando uma desidratação e até uma ruptura das membranas celulares (GUY, 1990). Populações de *Corymbia calophylla* (R. Br.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, adaptadas ao clima frio possuem maior vulnerabilidade hidráulica foliar à seca, em relação às populações de clima quente, indicando serem mais susceptíveis à falha hidráulica da folha (BLACKMAN *et al.*, 2017).

Tendo em vista os efeitos dos extremos térmicos no crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente na redução da produtividade, estratégias agronômicas têm sido desenvolvidas para mitigar esses efeitos. A técnica mais eficiente para a melhoria da tolerância

térmica das plantas é a engenharia genética (LAVANIA *et al.*, 2015). No entanto, técnicas de manejo agrônomo, podem ser utilizadas para minimizar os efeitos de temperaturas elevadas, como o cultivo sob telas termorefletoras (RAMPAZZO *et al.*, 2014), estufas sombreadas (AHEMD; AL-FARAJ; ABDEL-GHANY, 2016) e os arranjos agroflorestais (LIU *et al.*, 2019).

Contudo, é fundamental que a eficiência das estratégias de manejo seja avaliada para as espécies de interesse agrônomo e neste contexto, avaliar a área foliar é uma medida eficiente devido a sua relação com a produtividade. Além disso, é importante correlacionar a área foliar com as temperaturas máximas e mínimas nos estudos agrônômicos, uma vez que auxilia na melhor interpretação e definição de estratégias de manejo. Possibilitando, ainda, que a definição do manejo seja extrapolada de uma maneira mais eficiente para outras regiões de climas distintos.

1.7 Heterofilia em função das mudanças de estágio vegetativo para o reprodutivo

Dada a importância das folhas na obtenção de energia e assimilação do carbono, muitas espécies evoluíram mecanismos de sinalização ligados a esses órgãos, para

controlar a mudança do programa do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo. No estágio vegetativo a energia e os esqueletos de carbono são alocados para formar caules, raízes e folhas, que irão compor o corpo da planta. Esses órgãos são formados com características adaptadas a cada condição de ambiente, de maneira que a planta possa otimizar a utilização dos recursos, como água, luz e nutrientes.

Quando as plantas mudam o programa do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo, os fotoassimilados passam a ser alocados prioritariamente para o florescimento e a frutificação. Assim, a maior parte das espécies não investe em estruturas vegetativas durante o estágio reprodutivo. Por esse motivo, garantir que a mudança de fase irá ocorrer quando as plantas tiverem porte adequado, ou seja, suficientes estruturas vegetativas, principalmente folhas, para sustentar o período reprodutivo, garantirá o sucesso reprodutivo e possibilitará a perpetuação da espécie no ambiente.

O florescimento é um processo complexo e as plantas desenvolveram muitos mecanismos que integram fatores internos e do ambiente, para controlar o momento ideal para que haja sucesso reprodutivo. O fotoperiodismo diz respeito à influência do fotoperíodo no desenvolvimento das plantas,

como por exemplo no controle do florescimento, ou seja, as respostas das plantas ao fotoperíodo. As plantas desenvolveram a capacidade de perceber a mudança do fotoperíodo para iniciar o processo de florescimento, alinhando a fase reprodutiva à estação mais favorável do ano (BRAMBILLA *et al.*, 2017).

De acordo com o fotoperíodo mais favorável ao florescimento, as plantas podem ser classificadas como plantas de dias curtos e de dias longos. Quando a duração do dia excede um limite crítico específico, a floração é promovida nas plantas de dias longos, enquanto as plantas de dias curtos (noites longas) florescem em resposta à redução da duração do dia abaixo de um limite crítico (BRAMBILLA *et al.*, 2017). Um sistema fotorreceptor está envolvido na percepção das mudanças sazonais do comprimento do dia, tendo sido identificado em *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., três classes de fotorreceptores que regulam positivamente a indução fotoperiódica, fitocromo A, criptocromos e FLAVIN-BINDING, KELCH REPEAT, F-BOX 1 (FKF1) (PAIK; HUQ, 2019).

O importante nas respostas fotoperiódicas é o comprimento da noite e não somente do dia. Assim, as plantas de dias longos são na verdade plantas de noites curtas, enquanto que plantas de dias curtos são plantas de noites longas. Deve-se destacar, ainda, que as folhas são o

órgão perceptivo do fotoperíodo, de modo que uma planta desfolhada antes da indução floral, não floresce. Em resposta ao comprimento da noite a folha transmite um sinal por via floema que determina a indução floral nas gemas. As gemas, então, ficam evocadas, i. e., determinadas a se transformarem em flores (TAIZ *et al.*, 2017).

A indução fotoperiódica pode ser explicada pelo modelo da coincidência externa, no qual estabelece que deva haver coincidência entre as flutuações de um sinal interno com o sinal fotoperiódico externo para induzir a floração (PAIK; HUQ, 2019). Esse processo é finamente regulado por rotas moleculares e bioquímicas, ligadas ao relógio circadiano (BRAMBILLA *et al.*, 2017). Fatores de transcrição controlados pelo relógio circadiano induzem a produção de um sinal interno nas folhas (SEATON *et al.*, 2015). Os fotorreceptores devem ser ativados para estabilizar esse sinal interno, o que ocorre dependendo do fotoperíodo (PAIK; HUQ, 2019). Esse sinal interno induz a expressão de genes do tipo FLOWERING LOCUS T (FT), que codificam um sinal sistêmico transportado pelo floema para as gemas onde irá induzir a floração (SONG *et al.*, 2015). O processo é semelhante nas plantas de dias curtos e de dias longos, diferindo quanto aos tipos de fatores de transcrição, genes e proteína móvel (BRAMBILLA *et al.*, 2017).

Com relação a heterofilia, como a percepção fotoperiódica acontece nas folhas, quanto maior o número de folhas, menor a necessidade de fotoperíodo indutivo. Este mecanismo de sinalização permite que o florescimento ocorrerá quando as plantas tiverem a capacidade de produzir fotoassimilados suficientes para sustentar minimamente o período reprodutivo. Diversos autores utilizam, portanto, o número de folhas para estudar o florescimento induzido pelo fotoperíodo em plantas. Segundo Zhang *et al.* (2011), o número de folhas pode ser usado como o mais estável e representativo indicador de sensibilidade ao fotoperíodo no milho. No entanto, não é usual correlacionar esse efeito com a área foliar, e tendo em vista a grande plasticidade que este órgão possui, seria importante verificar a sua interação com a resposta fotoperiódica.

Vários fatores externos e internos são integrados à regulação transcricional do FT nas folhas (SONG; ITO; IMAIZUMI, 2013). A duração do dia e as mudanças diurnas da temperatura se combinam para modular o FT e o tempo de floração (KINMONTH-SCHULTZ *et al.*, 2016). O estágio de desenvolvimento e a giberelina também convergem para regular a expressão de FT (SONG; ITO; IMAIZUMI, 2013). Além disso, algumas plantas começam a florescer para produzir sementes para a próxima geração ou atrasam a

floração, retardando seu metabolismo, em função de outros estresses ou estímulos, como nutrientes, seca, salinidade, hormônios, produtos químicos aplicados exogenamente e micróbios patogênicos (CHO; YOON; AN, 2017).

1.8 Heterofilia em função da produção de bioativos

O metabolismo vegetal pode ser classificado em primário e secundário, sendo o primeiro referente as reações metabólicas comuns generalizada entre as plantas, como o metabolismo dos carboidratos, proteínas e lipídeos; enquanto o segundo, diz respeito a produção de metabolitos específicos a determinadas espécies, de natureza constitutiva ou induzível por fatores ambientais. Os metabolitos secundários são produzidos a partir dos primários, existindo, portanto, intrínseca relação entre as vias. A função destes compostos é promover adaptação das plantas ao ambiente, melhorando a tolerância aos estresses ambientais (VERMA; SHUKLA, 2015) e favorecendo as interações ecológicas entre os organismos vivos (PIASECKA; JEDRZEJCZAK-REY; BEDNAREK, 2015).

O tipo e a quantidade de metabolitos secundários produzidos são específicos para determinado grupo de plantas, mas variam em função do órgão, do estágio de

desenvolvimento e dos fatores ambientais (YANG *et al.*, 2018). O conhecimento de como as plantas induzem a produção destes metabólitos, possibilita o desenvolvimento de estratégias para otimizar a quantidade produzida, bem como para direcionar o metabolismo para grupos de compostos de interesse (VERMA; SHUKLA, 2015). Os principais fatores abióticos que influenciam na síntese desses compostos são luz, temperatura, água, fertilidade e salinidade (YANG *et al.*, 2018). São produzidos também como estratégia de defesa química aos fatores bióticos como ataque de patógenos e herbívoros (ZAYNAB *et al.*, 2018).

Os metabólitos secundários são sintetizados por células especializadas como os tecidos secretores (VERMA; SHUKLA, 2015) ou em organelas específicas, como o vacúolo (SHITAN, 2016). As estruturas secretoras internas, como dutos de resina e laticíferos, são geralmente encontradas em conjunto com feixes vasculares, enquanto cavidades secretoras subepidérmicas e tricomas glandulares epidérmicos geralmente apresentam padrões de distribuição de tecidos mais complexos (LANGE, 2015).

As folhas são importantes locais de produção e/ou acúmulo de diversos metabólitos secundários, quais sejam, os terpenos, alcaloides e compostos fenólicos, que são de interesse na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e

agrária. Muitos estresses ambientais tem a folha como o órgão mais afetado, por esse motivo as plantas investiram em estratégias morfológicas e químicas diversas (MASON *et al.*, 2016). Tendo em vista que as folhas são órgão extremamente plásticos, estudos que visem caracterizar os efeitos do ambiente na produção dos metabólitos secundários, devem quantificar também a área e a biomassa foliar, além dos compostos bioativos, como efetuado por Dörr *et al.* (2019). Neste estudo, verificaram que a luz azul aumentou a espessura das folhas de *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. e levou a um maior acúmulo de ácido rosmarínico por área foliar.

1.9 Heterofilia em função da deficiência nutricional e ao excesso de metais

A caracterização da área foliar também é importante em ensaios de manejo nutricional. Na natureza verifica-se que o tamanho das folhas varia em função dos teores dos elementos minerais do solo. Fatores de estresse como deficiência de nutrientes, salinidade e metais pesados promovem redução na área foliar e limitam o desenvolvimento da maioria das espécies cultivadas.

Como exemplo, em solos com baixo teor de nutrientes são caracterizados por espécies de folhas menores. Por outro

lado, o aumento na concentração de nutrientes, até certo limite, em especial o nitrogênio, induz o desenvolvimento da parte aérea, pelo aumento no número de folhas e na área foliar. Mas de um modo geral, o desbalanço nutricional, tanto de macronutrientes quanto micronutrientes, compromete o crescimento e o desenvolvimento das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

REFERÊNCIAS

ADAMS, W. W.; TERASHIMA, I. **The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis**. Springer, v. 44, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93594-2>. Disponível em: [https://link.springer.com/book/10.1007 %2F978-3-319-93594-2](https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-93594-2). Acesso em: 17 dezembro de 2019.

AHEMD, H. A.; AL-FARAJ, A. A.; ABDEL-GHANY, A. M. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 201, p. 36-45, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423816300310>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

AUGSTEIN, F.; CARISBECKER, A. Getting to roots: a developmental genetic view of root anatomy and function from Arabidopsis to Lycophytes. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 9, p.1-15, set. 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.01410. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01410/full>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

BAR, M.; ORI, N. Compound leaf development in model plant species. **Current Opinion in Plant Biology**, [s.l.], v. 23, p. 61-69, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.10.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526614001411>. Acesso em: 17 dezembro de 2019.

BASU, S.; RAMEGOWDA, V.; KUMAR, A.; PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress [version 1; referees: 3]. **F100Research**, [s.l.], jun. 2016. DOI: 10.12688/f1000research.7678.1. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Supratim_Basu/publication

/304661911_Plant_adaptation_to_drought_stress/links/5783b64e08aee45b8442daae.pdf. Acesso em: 22 outubro de 2019.

BLACKMAN, C. J.; ASPINWALL, M. J.; TISSUE, D. T.; RYMER, P. D. Genetic adaptation and phenotypic plasticity contribute to greater leaf hydraulic tolerance in response to drought in warmer climates. **Tree Physiology**, [s.l.], v. 37, n. 5, p. 583-592, mai. 2017. DOI: 10.1093/treephys/tpx005.

Disponível em:

<https://academic.oup.com/treephys/article/37/5/583/2979206>.

Acesso em: 22 outubro de 2019.

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advances in genetic**, [s.l.], v. 13, p. 155-155, 1965. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60048-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60048-6). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065266008600486>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

BRAMBILLA, V.; GOMEZ-ARIZA, J.; CERISE, M.; FORNARA, F. The importance of being on time: regulatory networks controlling photoperiodic flowering in cereals. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, [s.l.], p. 1-8, abr. 2017. DOI:

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00665>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00665/full>.

Acesso em: 22 outubro de 2019.

BRESTA, P.; NIKOLOPOULOS, D.; STAVROULAKI, V.; VAHAMIDIS, P.; ECONOMOU, G.; KARABOURNIOTIS, G.

How does long-term drought acclimation modify structure-function relationships? A quantitative approach to leaf phenotypic plasticity of barley. **Functional Plant Biology**, [s.l.], v. 45, n. 12, p. 1181-1194, jun./jul. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1071/FP17283>. Disponível em:

<http://www.publish.csiro.au/FP/FP17283>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

CASAL, J. J.; CANDIA, A. N.; SELLARO, R. Light perception and signalling by phytochrome A. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 65, n. 11, p. 2835-2845, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ert379>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/65/11/2835/2877369>. Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

CHIN, A. R.; SILLETT, S. C. Phenotypic plasticity of leaves enhances water-stress tolerance and promotes hydraulic conductivity in a tall conifer. **American journal of botany**, [s.l.], v. 103, n. 5, p. 796-807, mai. 2016. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1600110>. Disponível em: <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3732/ajb.1600110>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

CHO, L. H.; YOON, J.; AN, G. The control of flowering time by environmental factors. **The Plant Journal**, [s. l.], v. 90, n. 4, p. 708-719, set./dez. 2017. DOI: 10.1111/tpj.1346. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/tpj.13461>. Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

CHOI, W. G.; MILLER, G.; WALLACE, I.; HARPER, J.; MITTLER, R.; GILROY, S. Orchestrating rapid long-distance signaling in plants with Ca₂⁺, ROS and electrical signals. **The Plant Journal**, [s.l.], v. 90, n. 4, p. 698-707, jan./jan. 2017. DOI: 10.1111/tpj.13492. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/tpj.13492>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

D'ANGELO, J. W. D. O.; BASTOS, M. C.; CUQUEL, F. Maintenance pruning in physalis commercial production. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 2, p. 214-219, abr./jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.128>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052017005006104&script=sci_arttext. Acesso em: 22 outubro de 2019.

DEBONO, M. W.; SOUZA, G. M. Plantas as electronic plastic interfaces: a mesological approach. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, Pelotas-Brasil, v.146, p. 123-133, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2019.02.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079610718302256>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

DÖRR, O. S.; ZIMMERMANN, B. F.; KÖGLER, S.; MIBUS, H. Influência da temperatura das folhas e da luz azul no acúmulo de ácido rosmarinico e outros compostos fenólicos em *Plectranthus scutellarioides* (L.). **Botânica Ambiental e Experimental**, [s.l.], v. 167, p. 1-11, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103830>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009884721930694X>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.

DU, F.; GUAN, C.; JIAO, Y. Molecular mechanisms of leaf morphogenesis. **Molecular Plant**, [s.l.], v. 11, n. 9, p. 1117-1134, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2018.06.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S167420521830193X>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 402 p.

FATHI, A.; TARI, D. B. Effect of drought stress and its mechanism in plants. **International Journal of Life Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3126/ijls.v10i1.14509>. Disponível em: <https://www.nepjol.info/index.php/IJLS/article/view/14509>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

FORSMAN, A. Rethinking phenotypic plasticity and its consequences for individuals, populations and

species. **Heredity**, [s.l.], v. 115, n. 4, p. 276-2015, agos./out. 2015. DOI: 10.1038/hdy.2014.92. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/hdy201492>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

FRANKLIN, K. A. Photomorphogenesis: plants feel blue in the shade. **Current Biology**, [s.l.], v. 26, n. 24, p. 1275-1276, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.10.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982216312659>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

GELDEREN, K. V.; KANG, C.; PIERIK, R. Light signaling, root development, and plasticity. **Plant physiology**, [s.l.], v. 176, n. 2, p. 1049-1060, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.17.01079>. Disponível em: http://www.plantphysiol.org/content/176/2/1049?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Plant_Physiol_TrendMD_1. Acesso em: 22 outubro de 2019.

GILROY, S.; BIALASEK, M.; SUZUKI, N.; GÓRECKA, M.; DEVIREDDY, A. R.; KARPINSKI, S.; MITTLER, R. ROS, calcium, and electric signals: key mediators of rapid systemic signaling in plants. **Plant physiology**, [s.l.], v. 171, n. 3, p. 1606-1615, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.16.00434>. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/171/3/1606.short>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

GUY, C. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular**, v. 41, p. 187-223, 1990.

HARRISON, J. C. Development and genetics in the evolution of land plant body plans. **Philosophical Transactions B**, [s.l.], v. 372, n. 1713, p. 1-12, fev. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0490>. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2015.0490>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, [s.l.], v. 10, p. 4-10, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094715300116>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

HE, J.; DU, Y. L.; WANG, T.; TURNER, N. C.; YANG, R. P.; JIN, Y.; XI, Y.; ZHANG, C.; CUI, T.; FRANG, X. W.; LI, F. M. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 179, p. 236-245, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416302542>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

HENDRY, A. P. Key questions on the role of phenotypic plasticity in eco-evolutionary dynamics. **Journal of Heredity**, [s.l.] v. 107, n. 1, p. 25-41, ago. 2016. DOI: [10.1093/jhered/esv060](https://doi.org/10.1093/jhered/esv060). Disponível em: <https://academic.oup.com/jhered/article/107/1/25/2622828>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

HENN, J. J.; BUZZARD, V.; ENQUIST, B. J.; HALBRITTER, A. H.; KLANDERUD, K.; MAITNER, B. S.; MICHALETZ, S. T.; POTSCH, C.; SELTZER, L.; TELFORD, R.; YANG, Y.; ZHANG, L.; VANDVIK, V. Intraspecific trait variation and phenotypic plasticity mediate alpine plant species response to climate change. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 9, p. 1-11, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01548>. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01548/full?utm_source=Email_to_authors&utm_medium=Email&utm_content=T1_11.5e1_author&utm_campaign=Email_publication&

ield=&journalName=Frontiers_in_Plant_Science&id=408249.
Acesso em: 22 outubro de 2019.

HERZOG, M.; STRIKER, G. G.; COLMER, T. D.; PEDERSEN, O. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat—a review of root and shoot physiology. **Plant, Cell & Environment**, [s.l.], v. 39, n. 5, p. 1068-1086, nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12676>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12676>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

ICHIHASHI, Y.; TSUKAYA, H. Behavior of leaf meristems and their modification. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 6, p. 1-8, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01060>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.01060/full>. Acesso em 17 dezembro de 2019.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIC, L.; BARAĆ, S.; MASTILOVIĆ, J.; KEVREŠAN, Ž.; FALLIK, E. Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. **Zemdirbyste-Agriculture**, [s.l.], v. 104, n. 1, p. 53-62, 2017. DOI: 10.13080/z-a.2017.104.008. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Effect+of+shading+by+coloured+nets+on+yield+and+fruit+quality+of+sweet+pepper&btnG=. Acesso em: 22 outubro de 2019.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIC, L.; FALLIK, E. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 95, n. 13, p. 2660-2667, nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.7000>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

KINMONTH-SCHULTZ, H. A.; TONG, X.; LEE, J.; SONG, Y. H.; ITO, S.; KIM, S. H.; IMAIZUMI, T. Cool night-time temperatures induce the expression of **CONSTANS** and **FLOWERING LOCUS T** to regulate flowering in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, [s. l.], v. 211, n. 1, p. 208-224, fev./jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13883>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13883>. Acesso em: 17 de dezembro de 2017.

LANGE, B. M. The evolution of plant secretory structures and emergence of terpenoid chemical diversity. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 66, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114639>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-arplant-043014-114639>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.

LAVANIA, D.; DHINGRA, A.; SIDDIQUI, M. H.; AL-WHAIBI, M. H.; GROVER, A. Current status of the production of high temperature tolerant transgenic crops for cultivation in warmer climates. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 86, p. 100-108, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.11.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942814003611>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

LIU, Q.; PENG, P. H.; WANG, Y. K.; XU, P.; GUO, Y. Microclimate regulation efficiency of the rural homegarden agroforestry system in the Western Sichuan Plain, China. **Journal of Mountain Science**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 516-528, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5112-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11629-018-5112-1>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

LIU, Y.; DAWSON, W.; PRATI, D.; HAEUSER, E.; FENG, Y.; KLEUNEN, M. V. Does greater specific leaf area plasticity help

plants to maintain a high performance when shaded?. **Annals of botany**, [s.l.], v. 118, n. 7, p. 1329-1336, set./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw180>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/118/7/1329/2669382>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

LORETI, E.; VEEN, H. V.; PERATA, P. Plant responses to flooding stress. **Current Opinion in Plant Biology**, [s.l.], v. 33, p. 64-71, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526616300887>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

MANZONI, S.; VICO, G.; THOMPSON, S.; BEYER, F.; WEIH, M. Contrasting leaf phenological strategies optimize carbon gain under droughts of different duration. **Advances in water resources**, [s.l.], v. 84, p. 37-51, out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170815001682>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

MASON, C. M.; BOWSHER, A. W.; CROWELL, B. L.; CELOY, R. M.; TSAI, C. J.; DONOVAN, L. A. Macroevolution of leaf defenses and secondary metabolites across the genus *Helianthus*. **New Phytologist**, [s.l.], v. 209, n. 4, p. 1720-1733, mar. 2016. DOI: 10.1111/nph.13749. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13749>. Acesso em: 18 dezembro 2019.

MICHALETZ, S. T.; WEISER, M. D.; MCDOWELL, N. G.; ZHOU, J.; KASPARI, M.; HELLIKER, B. R.; ENQUIST, B. J. The energetic and carbon economic origins of leaf thermoregulation. **Nature Plants**, [s.l.], v. 2, n. 9, p. 1-9, ago. 2016. DOI: 10.1038/NPLANTS.2016.129. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nplants2016129>. Acesso em: 17 dezembro de 2019.

MUSTROPH, A. Improving flooding tolerance of crop plants. **Agronomy**, [s.l.], v. 8, n. 9, p. 160, ago./ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8090160>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/160>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

MUTAVA, R. N.; PRINCE, S. J. K.; SYED, N. H.; SONG, L.; VALLIYODAN, B.; CHEN, W.; NGUYEN, H. T. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: A comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 86, p. 109-120, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.11.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S098194281400343X>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

NAKAYAMA, H.; SINHA, N. R.; KIMURA, S. How do plants and phytohormones accomplish heterophylly, leaf phenotypic plasticity, in response to environmental cues. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 8, p. 1-7, out. 2017. DOI: [10.3389/fpls.2017.01717](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01717). Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01717/full>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

OGUCHI, R.; ONODA, Y.; TERASHIMA, I.; THOLEN, D. Leaf anatomy and function. In: ADAMS, W. W.; TERASHIMA, I. **The leaf: a platform for performing photosynthesis**. v. 44, Springer, 2018. cap. 5, p. 97-139. Disponível em: <http://www.springer.com/series/5599>. Acesso em 17 de dezembro de 2019.

PAIK, I.; HUQ, E. Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, [s.l.], v. 92, p. 114-121, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2019.03.007>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2019.03.007>. Acesso em: 17 dezembro de 2019.

PARAD, G. A.; KOUCHAKSARAEI, M. T.; STRIKER, G. G.; SADATI, S. E.; NOURMOHAMMADI, K. Growth, morphology and gas exchange responses of two-year-old *Quercus castaneifolia* seedlings to flooding stress. **Scandinavian Journal of Forest Research**, [s.l.], v. 31, n. 5, p. 458-466, mar./jul. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2015.1072240>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02827581.2015.1072240>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

PFAUTSCH, S.; HOLTITA, T.; MENCUCCINI, M. Hydraulic functioning of tree stems-fusing ray anatomy, radial transfer and capacitance. **Tree Physiology**, [s.l.], v. 35, n. 7, p. 706-722, abr./jul. 2015. DOI: 10.1093/treephys/tpv058. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article/35/7/706/1621530>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

PIASECKA, A.; JEDRZEJCZAK-REY, N.; BEDNAREK, P. Secondary metabolites in plant innate immunity: conserved function of divergent chemicals. **New Phytologist**, Poznan – Polônia, v. 206, n. 3, p. 948-964, nov./jan. 2015. DOI: 10.1111/nph.13325. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13325>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.

POORTER, H.; RYSER, P. Os limites da plasticidade das folhas e das raízes: o que há de tão especial no comprimento específico da raiz?. **New Phytologist**, [s.l.], v. 206, n. 4, p. 1188-1190, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13438>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13438>. Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

PRASCH, C. M.; SONNEWALD, U. Signaling events in plants: stress factors in combination change the picture. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v.

114, p. 4-14, jun. 2015. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.020>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847214001701>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

RAMPAZZO, R.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M.; ALVES, A. M.; FERREIRA, R. F. Eficiência de telas termorefletoras e de sombreamento em ambiente protegido tipo telado sob temperaturas elevadas. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, Viçosa-MG, v. 22, n. 1, p. 33-42, jan./ fev. 2014. DOI: 10.13083/1414-3984.V22N01A04. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/326>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

SAVVIDES, A.; LEPEREN, W. V.; DIELEMAN, J. A.; MARCELLIS, L. F. Phenotypic plasticity to altered apical bud temperature in *Cucumis sativus*: more leaves-smaller leaves and vice versa. **Plant, cell & environment**, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 69-79, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12835>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12835>. Acesso em: 17 dezembro de 2019.

SCOFFONI, C.; CHATELET, D. S.; PASQUET-KOK, J.; RAWLS, M.; DONOGHUE, M. J.; EDWARDS, E. J.; SACK, L. Hydraulic basis for the evolution of photosynthetic productivity. **Nature Plants**, [s.l.], v. 2, n. 6, p. 1-8, jun. 2016. DOI: 10.1038/NPLANTS.2016.72. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nplants201672>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

SEATON, D. D.; SMITH, R. W.; SONG, Y. H.; MACGREGOR, D. R.; STEWART, K.; STEEL, G.; HALLIDAY, K. J. Linked circadian outputs control elongation growth and flowering in response to photoperiod and temperature. **Molecular systems biology**, [s. l.], v. 11, n. 1, jan. 2015. DOI:

<https://doi.org/10.15252/msb.20145766>. Disponível em:
<https://www.embopress.org/doi/full/10.15252/msb.20145766>.
Acesso em: 17 dezembro de 2019.

SHITAN, N. Secondary metabolites in plants: transport and self-tolerance mechanisms. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, [s.l.], v. 80, n. 7, p. 1283-1293, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09168451.2016.1151344>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09168451.2016.1151344>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.

SONG, Y. H.; ITO, S.; IMAIZUMI, T. Flowering time regulation: photoperiod-and temperature-sensing in leaves. **Trends in plant science**, [s.l.] v. 18, n. 10, p. 575-583, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.05.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138513001040>. Acesso em: 17 dezembro de 2019.

SONG, Y. H.; SHIM, J. S.; KINMONTH-SCHULTZ, H. A.; IMAIZUMI, T. Photoperiodic flowering: time measurement mechanisms in leaves. **Annual Review of Plant Biology**, [s.l.], v. 66, p. 441-464, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-115555>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-arplant-043014-115555>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

SRINIVASAN, V.; KUMAR, P.; LONG, S. P. Decreasing, not increasing, leaf area will raise crop yields under global atmospheric change. **Global change biology**, [s.l.], v. 23, n. 4, p. 1626-1635, jul./ago. 2017. DOI: 10.1111/gcb.13526. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13526>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

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

TAKAHASHI, F.; SHINOZAKI, K. Long-distance signaling in plant stress response. **Current opinion in plant biology**, [s.l.], v. 47, p. 106-111, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.10.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136952661830075X>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

TSUKAYA, H. Leaf shape diversity with an emphasis on leaf contour variation, developmental background, and adaptation. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, [s.l.], v. 79, p. 48-57, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.11.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084952117304664>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

VERMA, N.; SHUKLA, S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, [s. l.] v. 2, n. 4, p. 105-113, abr./set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214786115300152?via%3Dihub>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.

WANG, D.; Du, J.; ZHANG, B.; BA, L.; HODGKINSON, K. C. Grazing intensity and phenotypic plasticity in the clonal grass *Leymus chinensis*. **Rangeland ecology & management**, [s.l.], v. 70, n. 6, p. 740-747, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.06.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742417300672#!>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

WOLFE, B. T.; SPERRY, J. S.; KURSAR, T. A. Does leaf shedding protect stems from cavitation during seasonal

droughts? A test of the hydraulic fuse hypothesis. **New Phytologist**, [s./], v. 212, n. 4, p. 1007-1018, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14087>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.14087>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

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, U.; REICH, P. B.; SACK, L.; VILLAR, R.; WANG, H.; WILF, P. Global climatic drivers of leaf size. **Science**, [s./], v. 357, n. 6354, p. 917-921, out. 2017. DOI: 10.1126/science.aal4760. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/357/6354/917.abstract>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

XUE, H.; HAN, Y.; LI, Y.; WANG, G.; FENG, L.; FAN, Z.; DU, W.; YANG, B.; CAO, C.; Mao, S. Spatial distribution of light interception by different plant population densities and its relationship with yield. **Field Crops Research**, [s./], v. 184, p. 17-27, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429015300484>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

YANG, Li.; WEN, K. S.; RUAN, X.; ZHAO, Y. X.; WEI, F.; Wang, Q. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. **Molecules**, [s. /], v. 23, n. 4, p. 762, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/4/762>. Acesso em 18 dezembro de 2019.

YUAN, C. M.; WU, T.; GENG, Y. F.; CHAI, Y.; HAO, J. B. Phenotypic plasticity of lianas in response to altered light environment. **Ecological research**, Japão, v. 31, n. 3, p. 375-384, fev. 2016. DOI: 10.1007/s11284-016-1343-1. Disponível em: <https://esj->

journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/s11284-016-1343-1. Acesso em: 22 outubro de 2019.

ZAYNAB, M.; FATIMA, M.; ABBAS, S.; SHARIF, Y.; UMAIR, M.; ZAFAR, M. H.; BAHADAR, K. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. **Microbial pathogenesis**, [s. l.], v. 124, p. 198-202, ago./nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0882401018312786>. Acesso em 18 dezembro de 2019.

ZHANG, X.; TANG, B.; LIANG, W.; ZHENG, Y.; QIU, F. Quantitative genetic analysis of flowering time, leaf number and photoperiod sensitivity in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, [s.l.], v. 3, n. 9, p. 168-184, jun./set. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Xiaobo_Zhang13/publication/267236688_Quantitative_genetic_analysis_of_flowering_time_leaf_number_and_photoperiod_sensitivity_in_maize_Zea_mays_L/links/56ef8d3c08aed17d09f87ace/Quantitative-genetic-analysis-of-flowering-time-leaf-number-and-photoperiod-sensitivity-in-maize-Zea-mays-L.pdf. Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

ZHU, J.; WERF, W. V. D.; ANTEN, N. P. R.; VOS, J.; EVERS, J. B. The contribution of phenotypic plasticity to complementary light capture in plant mixtures. **New Phytologist**, [s.l.], v. 207, n. 4, p. 1213-1222, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13416>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13416>. Acesso em: 22 outubro de 2019.

ZHU, J.K. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, [s.l.], v.167, n. 2, p. 313-324, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867416310807>. Acesso em 19 de dezembro de 2019.

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 colonião

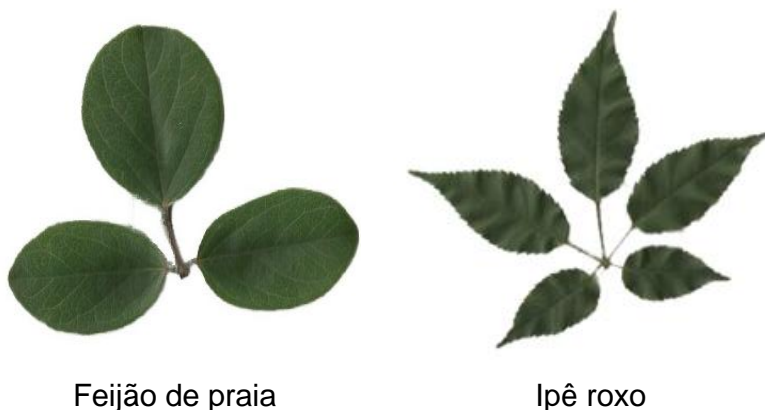
Fonte: Os autores

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).



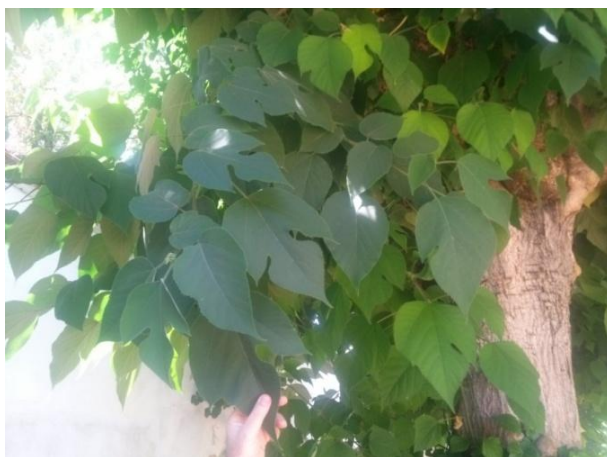
Feijão de praia

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 (DOMEK *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 (DOMEK *et al.*, 2021).

As plantas alagadas exibem também alterações estruturais que em conjunto com os ajustes fisiológicos auxiliam na manutenção do fluxo hidráulico (DOMEK *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 cacaueteiro (*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 milho 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.

CAPÍTULO 3

RECURSOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR

Karina Tiemi Hassuda dos Santos

Engenheira Agrônoma, Mestre em Agricultura Tropical.

Contato: karinahassuda@gmail.com

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

Gleyce Pereira Santos

Engenheira Agrônoma, Mestre em Agricultura Tropical,

Doutoranda em Produção Vegetal. Contato:

gleyce.gps@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6364669220474472>

Jéssica Sayuri Hassuda Santos

Bacharel em Biologia. Contato:

jessicasayurihassuda@gmail.com

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

Edilson Romais Schmidt

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.schmidt@ufes.br

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

3.1 Determinação da área foliar de forma destrutiva ou não destrutiva

A área foliar de uma planta é muito utilizada na experimentação científica, dessa maneira se torna importante sua determinação.

A medição da área foliar pode ser feita de forma direta destrutiva ou de forma indireta (não destrutiva). Para determinar a área foliar diretamente, de forma destrutiva, as folhas da planta são coletadas e então a área foliar é estimada usando-se algum medidor de área foliar, normalmente de bancada. A medição da área foliar de forma direta não destrutiva apesar de ser fácil, depende de equipamentos geralmente caros e encontram algumas vezes o inconveniente de as folhas maiores não poderem ser avaliadas pela limitação da área de leitura do equipamento portátil. Pode, no entanto, ser realizado por fotos digitais e feita leitura em processadores de imagens como o ImageJ® (AGEHARA *et al.*, 2020). Por último, os métodos indiretos e não destrutivos permitem avaliações sucessivas em uma mesma planta e rapidez nas avaliações, sendo, portanto, mais convenientes e baratos. Os métodos indiretos, geralmente envolvem o uso de equações de regressão, a partir de um estudo de modelagem estatística.

Cabe enfatizar que as equações usadas no método indireto necessitam da área foliar para serem estimadas por meio da modelagem. Desta forma, o método indireto será sempre não destrutivo quando o pesquisador usar as equações indicadas pelos estudos da modelagem, e que, no entanto, será destrutivo ou não, durante o estudo da modelagem, se destacar ou não as folhas, respectivamente.

3.2 Diferentes métodos de medir a área foliar a ser usada nos estudos de modelagem

Descreveremos a seguir algumas opções de se medir a área foliar a serem usados nos estudos de modelagem estatística.

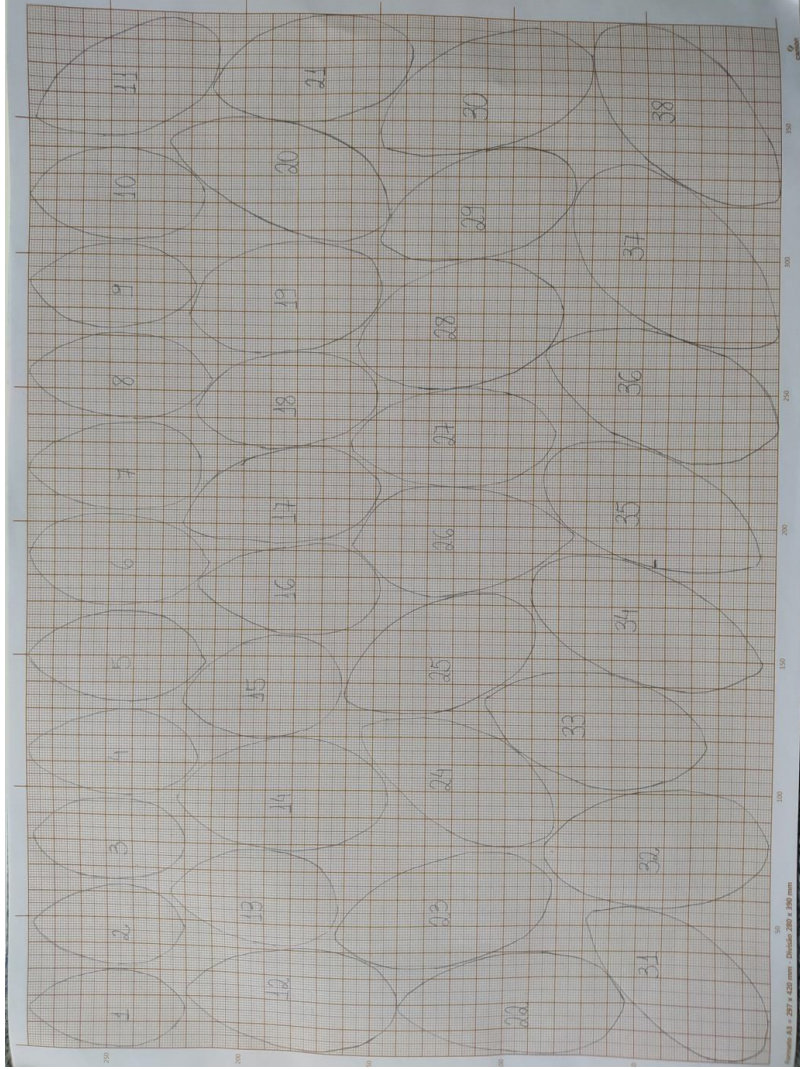
3.2.1 Papel milimetrado

O método com a utilização do papel milimetrado (Figura 1) está entre os que demandam um maior tempo e mão de obra para realização, o tornando um método trabalhoso. Ele é um dos mais simples de ser implementado. Todas as folhas a serem analisadas são destacadas da planta e contornadas sobre uma folha de papel milimetrado, sendo que os desenhos podem ser ou não cortados e todos os

quadrados presentes dentro dos mesmos são contados. Esses quadrados têm a área previamente conhecida, dessa maneira a partir da quantidade de quadrados contados a área foliar é determinada.

Este é um método mais utilizado em pesquisas com baixo orçamento, por ter um menor custo na obtenção do material. Atualmente é menos utilizado, uma vez que existem novas tecnologias, tornando a determinação da área foliar mais rápida e eficaz. Este foi um dos métodos utilizado por Moreira Filho *et al.* (2007) para estimar a área foliar da flor de seda [*Calotropis Procera* (Aiton) W.T. Aiton] e por Misgana *et al.* (2018) em café arábica (*Coffea arabica* L.).

Figura 1 - Folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) desenhadas no papel milimetrado.



3.2.2 Método gravimétrico

Está entre os métodos mais trabalhosos e uso não frequente, porém, como boa opção para casos de baixo orçamento na pesquisa. Escolhe-se papel de dimensão e gramatura conhecidas. Caso se disponha de balança de precisão, pode-se usar papel com gramatura menor. Uma boa opção é o uso de papel A4 que tem dimensões de 21,0 x 29,7 cm e, portanto, 623,7 cm² de área conhecida. Pesa-se a folha de papel e sobre a mesma folha de papel se marcam os contornos do limbo das folhas, corta-se os contornos de cada folha separadamente e pesa-se. Por regra de três simples se estima a área do limbo foliar.

Como exemplo, ilustramos na Figura 2, o contorno de limbo foliar de uma folha de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) a partir de uma folha com de papel A4 com gramatura de 75g/ m² e peso de 4,7769 g. Para o referido limbo foliar, o peso foi de 0,4412g e, portanto, área estimada de 57,60 cm². As medidas de comprimento e maior largura do limbo foliar podem ser feitas diretamente no limbo foliar ou ainda no próprio papel recortado a partir dos contornos da folha. Em caso de uso deste método, aconselha-se, para posteriores conferências, que sejam guardadas as folhas recortadas e também algumas folhas do papel A4 com a mesma gramatura

das usadas na pesquisa. O referido método fora usado na estimativa de área foliar de cafeeiro por Barros (1973) e por Tavares Junior *et al.* (2002).

Figura 2 - Contorno, em papel A4, do limbo foliar de uma folha de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) para ilustração do método gravimétrico (O referido limbo foliar possui dimensões de 12,12 cm de comprimento e 6,17 de largura máxima).



Fonte: Os autores

3.2.3 Discos foliares

Neste método coleta-se as folhas livre de danos, doenças e pragas. Mede-se o comprimento e a largura das folhas. São retirados discos foliares com um calador ou perfurados de papel com área conhecida. Em seguida os discos são levados às estufas até atingirem massa constante.

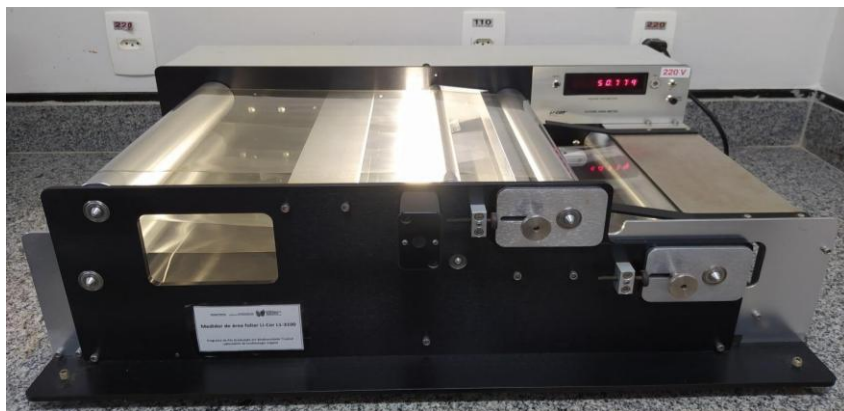
Determina-se a matéria seca dos discos. A área foliar é calculada pela equação: $AF = (MST \times ATD) / MSD$, onde AF é a área foliar total, MST é a matéria seca total, ATD é a área total dos discos e MSD é a matéria seca dos discos. Realiza-se a regressão entre a área real e as medidas lineares das folhas. Logo depois é feita a validação, esta necessita de outro grupo de folhas. Por fim utilizando vários critérios de validação é escolhida a equação ou as equações que melhor se ajustam. Este método foi utilizado por autores como Braga *et al.* (2018) em teca (*Tectonas grandis* L. f.), e Lavanhole *et al.* (2018) em bromélia (*Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. SM).

3.2.4 Medidor de área foliar LI-COR (Li-Cor, Lincoln, NE, USA)

O fabricante disponibiliza o modelo LI-3000C, que é portátil, e o modelo de bancada que é o LI-3100C (Figura 3). O equipamento LI-3100C é um medidor de área foliar grande (área de leitura com 30 cm de largura) e pode escanear folhas grandes e pequenas. Possui um visor onde registra a área de folhas individuais ou de grupos de folhas. Estando conectado a um computador e utilizando um software pode também transferir e gravar as medições diretamente em um computador. Além de informar a área pode também indicar o comprimento e a maior largura do limbo foliar. Necessita que

a folha seja destacada da planta-mãe. Além de ser possível a medição direta de folhas grandes, possui também como vantagem a rapidez nas medições, ou seja, possibilidade de medir um grande número de folhas em pouco tempo. Dentre os pesquisadores que usaram o modelo LI-3100C, podemos citar Zanetti *et al.* (2017) na estimativa da área foliar de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e Lee *et al.* (2018) em folhas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). Concernente ao uso do modelo portátil LI-3000C na modelagem da área foliar podemos citar os artigos de Oliveira *et al.* (2019) na modelagem da área foliar de feijão guandu (*Cajanus cajan* L.) e Schmidt *et al.* (2019) na modelagem da área foliar de café (*Coffea dewevrei* De Wild. & T. Durand).

Figura 3 - Medidor de área foliar modelo LI-3100C (foto sem escala).



Fonte: Os autores

3.2.5 Medidor de área foliar AM (ADC BioScientific Ltd.[®], Hoddesdon, Hertfordshire, England)

O equipamento AM é um medidor de área foliar portátil, escaneia folhas pequenas. É um scanner compacto, armazena as imagens que podem ser baixadas posteriormente e ainda possui um visor onde é possível ver a digitalização em tempo real. Ele informa a área, comprimento, maior largura e perímetro da folha. Há os modelos AM300 e AM350 (Figura 4). Pode-se utilizá-lo para obter a área foliar destacando ou não as folhas da planta-mãe. Possui como vantagem a possibilidade de obter a área foliar de forma não destrutiva e ser um equipamento leve. Autores que utilizaram este método para determinar a área foliar: Camen *et al.* (2010) em alface (*Lactuca sativa* L.), Covasa *et al.* (2015) em tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

Figura 4 - Medidor de área foliar AM350 com uma folha de araquá (*Psidium cattleianum* Sabine) em processo de medição da área foliar (foto sem escala).



Fonte: Os autores

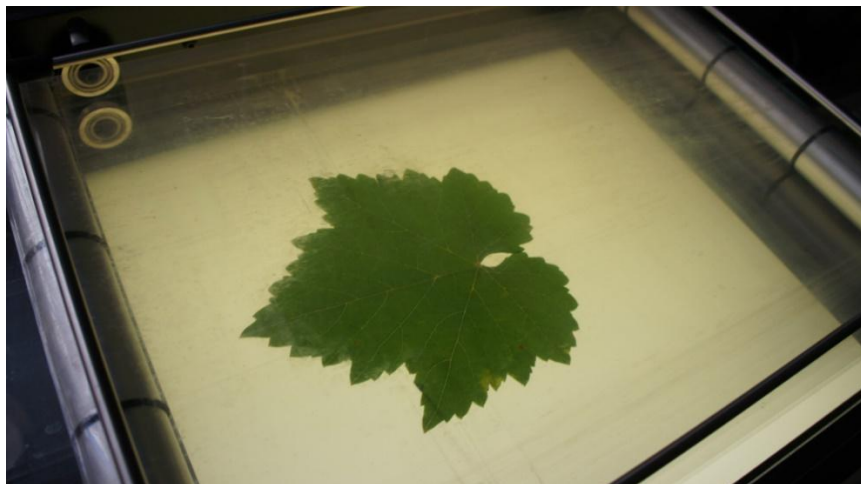
3.2.6 Medidor de área foliar Delta (Delta-T Devices Ltd.[®], Burwell, Cambridge, England)

O sistema do medidor de área foliar Delta (Figura 5) consiste em uma câmera de vídeo de alta resolução, uma caixa de luz e iluminação na posição sobre cabeça ou um sistema com base em scanner e permite a medição precisa da área foliar total e a porcentagem de área foliar

doente/saudável, bem como a medição de perímetro, comprimento, maior largura de folhas e contagem de objetos.

As folhas avaliadas devem ser destacadas da planta e colocadas sobre o medidor. O equipamento deve ser acoplado a um monitor, onde as medidas obtidas são registradas. Gobbi *et al.* (2011) utilizaram o medidor de área foliar Delta para determinar a área foliar de capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg. cv. Amarillo), usando folhas destacadas previamente das plantas. Da mesma forma Oliveira *et al.* (2002) determinaram a área foliar de pequiheiro (*Caryocar brasiliense* Camb.), Schmildt *et al.* (2014) a área foliar de videira (*Vitis vinifera* L.) e Schmildt *et al.* (2017) a área foliar de cherimoya (*Annona cherimola* Mill.).

Figura 5 - Medidor de área foliar Delta com uma folha de videira (*Vitis vinifera* L.) em processo de medição da área foliar (foto sem escala).



Fonte: Os autores

3.2.7 Folhas escaneadas

Esta opção necessita de uma boa impressora para que os limbos foliares sejam escaneados e, um bom processador de imagens, como o ImageJ®, que é um software de domínio público que possui vários anos de existência (SCHNEIDER *et al.*, 2012; SCHINDELIN *et al.*, 2015). Está disponível em <https://imagej.net/Downloads> e em <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>.

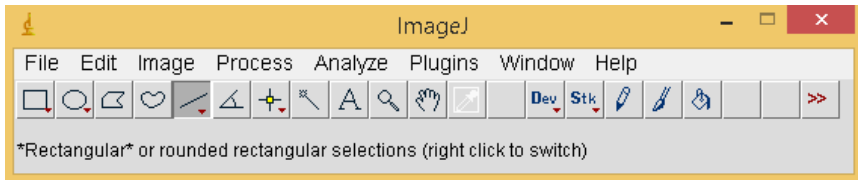
Dentre as várias funções que possui, pode ser utilizado para a determinação do comprimento, largura e a área foliar. Isso se dá através da utilização das folhas digitalizadas, geralmente

escaneadas em impressoras ou fotografadas (será descrito mais adiante). É necessário remover as folhas da planta-mãe ou não (AGEHARA *et al.*, 2020). As imagens são salvas em diferentes resoluções, no entanto, sugerimos o uso 75 dpi para ocupar menos memória no armazenamento. Em seguida são processadas com o auxílio do programa ImageJ[®]. Dentro do programa as imagens são abertas, a escala é devidamente ajustada de acordo com a definida anteriormente. Alguns trabalhos que utilizaram o ImageJ[®] para a determinação da área foliar: Santos *et al.* (2019) em mudas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) e Salazar *et al.* (2018) em cacau (*Theobroma cacao* L.). Existem outros softwares que podem ser usados, porém o ImageJ[®] é de uso mais frequente.

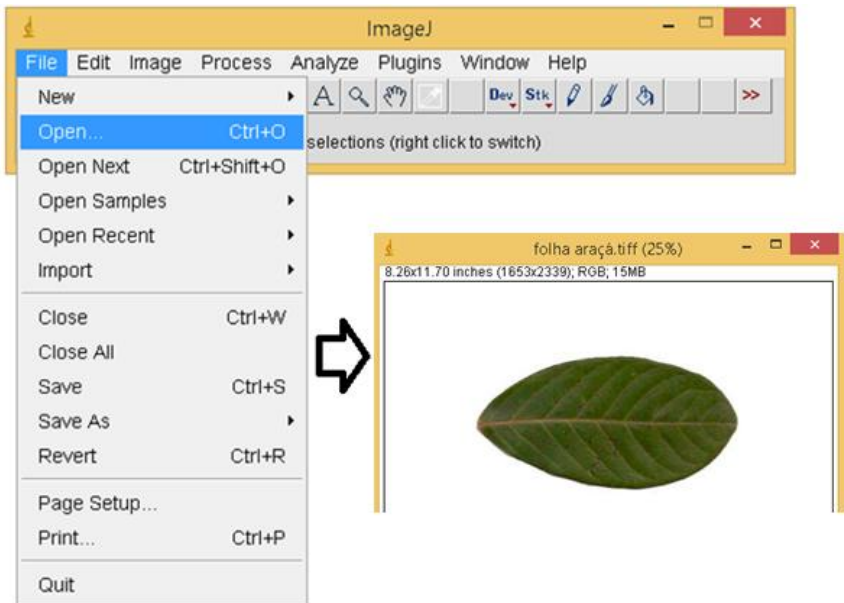
Existem alguns passos a serem seguidos para a determinação do comprimento, da maior largura e a área foliar com a utilização do ImageJ[®] a partir de folhas escaneadas. Inicialmente a folha deve ser escaneada em formato TIFF (Tag Image File Format). Aconselhamos a utilização da opção de 75 dpi pois a nossa experiência tem demonstrado que qualquer outra resolução superior não altera a área foliar e gasta-se mais memória para armazenamento das figuras contendo as folhas escaneadas. A seguir relatamos alguns passos para se obter a área foliar, o comprimento e a maior largura a partir de uma folha de araçá (*P. cattleyanum* Sabine):

1) Escanear na impressora (Pode ser tantas folhas, sem pecíolo, quanto couberem na área de scanner) e salvar com terminação .tiff (definir como 75ppp = 75dpi) - TIFF. Para esse exemplo específico foi salva a imagem com 200 dpi;

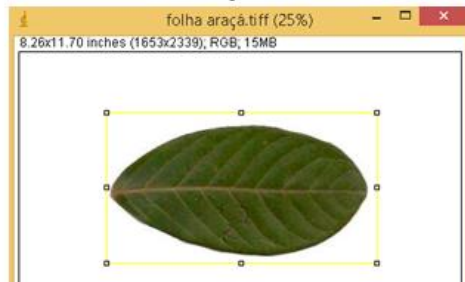
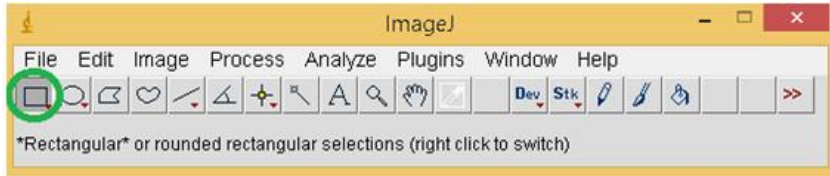
2) Abrir o imageJ® (dois clicks no imageJ.exe – a partir daqui é tudo no ImageJ®), que apresenta a seguinte visualização;



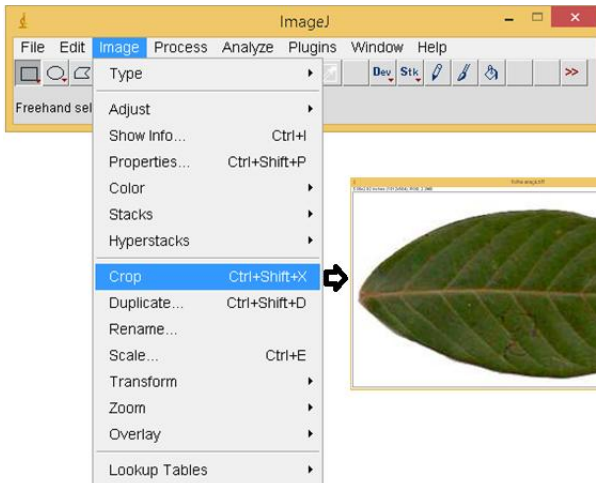
3) *File* → *Open* (abrir a imagem .tiff desejada), no caso, "folha araquá.tiff";



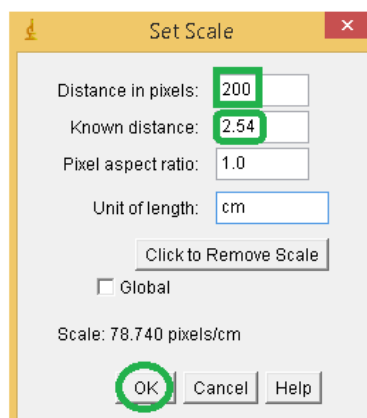
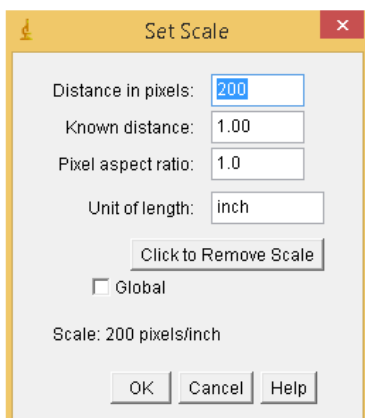
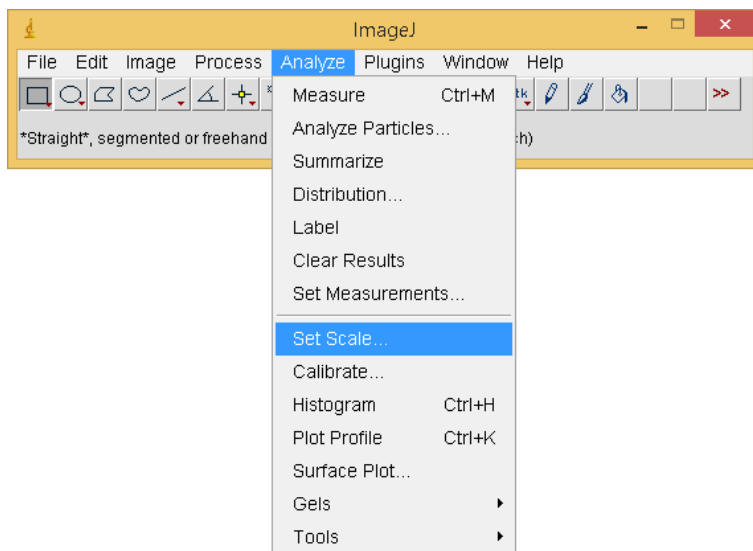
4) Com a opção “Rectangle” (retângulo) acionada, vá à figura aberta e selecione a mesma, colocando o retângulo circunscrito ao limbo foliar;



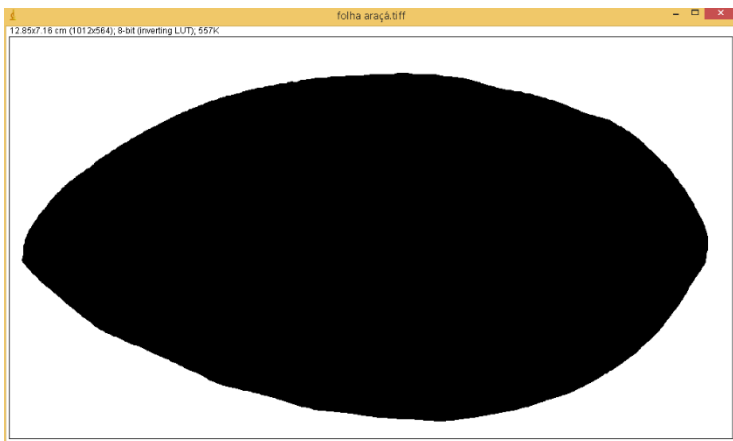
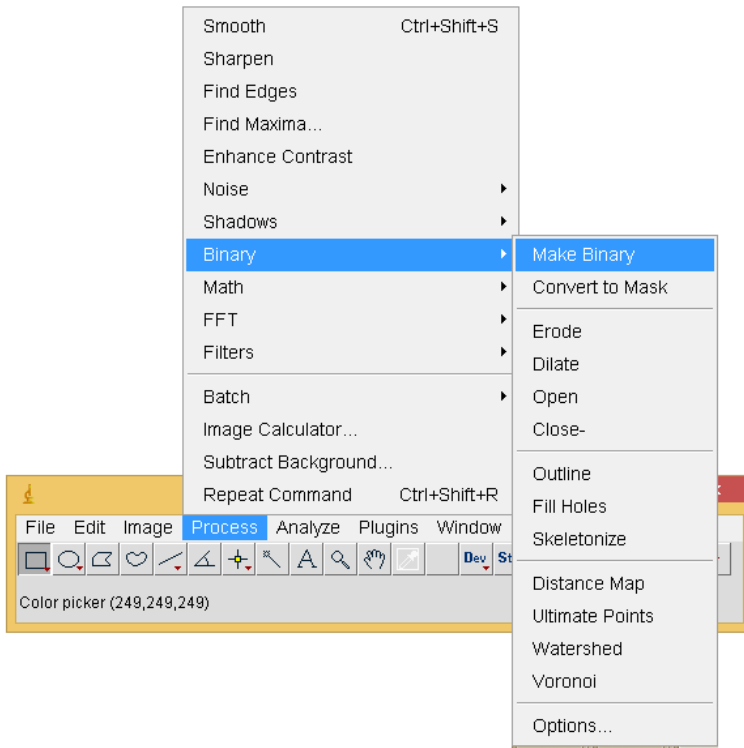
5) Selecione a partir da janela *Image* a opção *Crop* (separa o retângulo circunscrito);



6) *Analyse* → *Set Scale* (Distance in pixels = 200 no caso (ou quantos dpi foi salvo o tiff) que já vem preenchido; Known distance = 2.54; Unit of length = cm; ok – traz a leitura de comprimento e maior largura da folha em cm, sendo a original em polegadas – a área fica em cm^2);

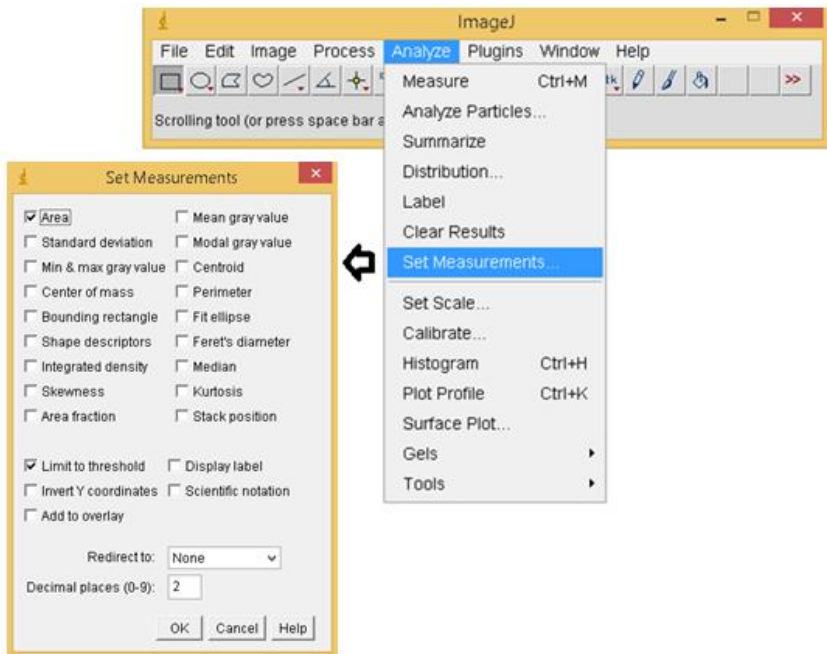


7) Process → Binary → Make binary;

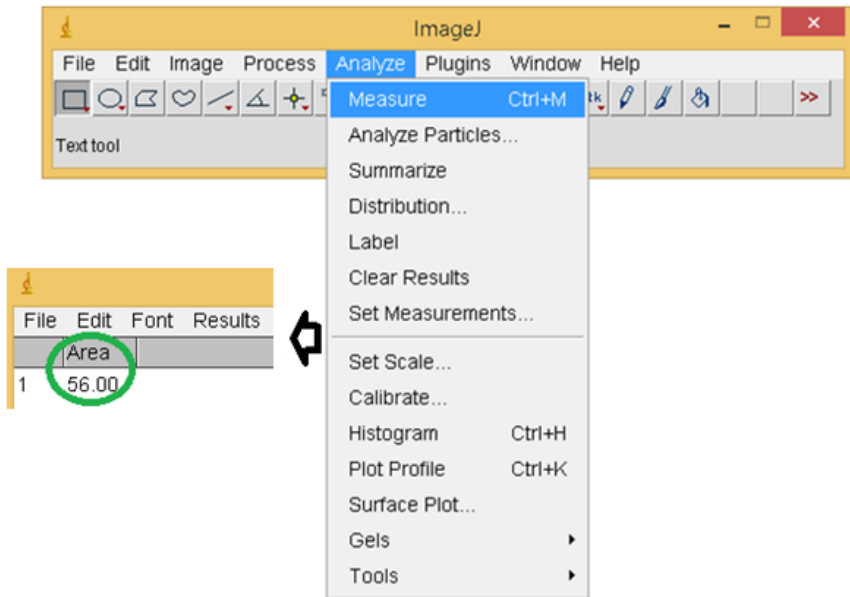


8) *Process* → *Binary* → *Fill Holes* (isto corrige pontos brancos que não seriam computados como área, caso exista);

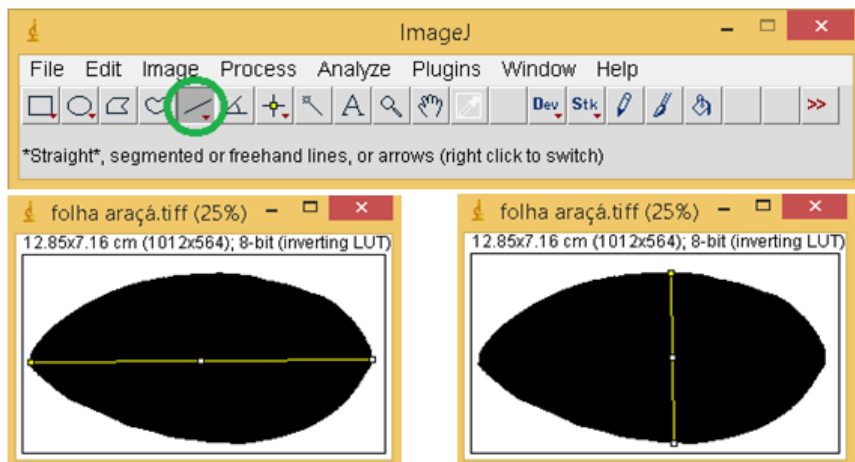
9) *Analyse* → *Set Measurements* – marque *Área* e *Limite Threshold* (isso irá selecionar a área a ser lida, apenas do limbo foliar);



10) Analyze → Measure;



11) Para medir comprimento, selecione a opção “Straight” (reta), posicione a reta na dimensão do comprimento da folha e então dê um ctrl + M e leia o resultado em Results (para a maior largura da folha, faça o mesmo procedimento).



	Area	Angle	Length	
1	56.00	0	0	Área do limbo foliar
2	0.15	0.48	12.14	Comprimento do limbo foliar
3	0.08	-89.05	6.15	Maior largura do limbo foliar

3.2.8 Foto digital

As fotos digitais podem ser utilizadas na determinação direta da área foliar, sendo esse um método não destrutivo. As folhas são fotografadas ainda na planta em campo ou em mudas em viveiros, sem a necessidade de destacar as

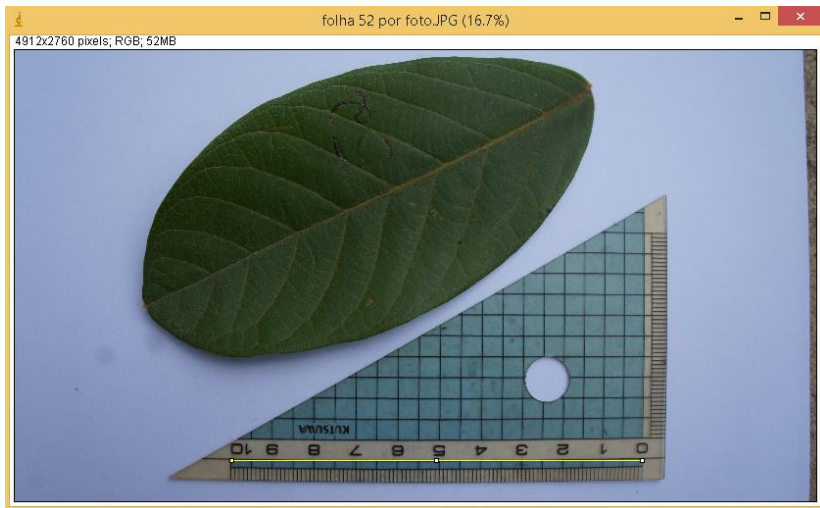
mesmas. O método de fotos digitais pode substituir o uso de scanners e aparelhos de medição, que são métodos padrão para a estimativa de área foliar. A vantagem é um custo inferior mantendo um padrão de qualidade similar. Essas imagens geralmente são processadas com o auxílio de um programa, como o Sigma Scan Pro v. 5.0, como nos trabalhos realizados por Toebe *et al.* (2010) e Cargnelutti Filho *et al.* (2012), para a obtenção da área foliar através de fotos digitais em crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) e mucuna cinza (*Stizolobium cinereum* Piper & Tracy), respectivamente. O ImageJ[®] também pode ser usado, e, nesse caso, como mencionado, pode ser feito a partir de folhas fotografadas na própria planta. No entanto, para ilustrar, de forma comparativa, usaremos a mesma folha de araquá da demonstração anterior do ImageJ[®], quando a folha fora escaneada. Os passos não ilustrados se assemelham ao apresentado anteriormente para as folhas escaneadas.

1) Fotografar a folha usando alguma câmera que nos permita salvar a foto para posterior uso, normalmente salva em jpeg e que contenha alguma medida conhecida, de preferência em cm;

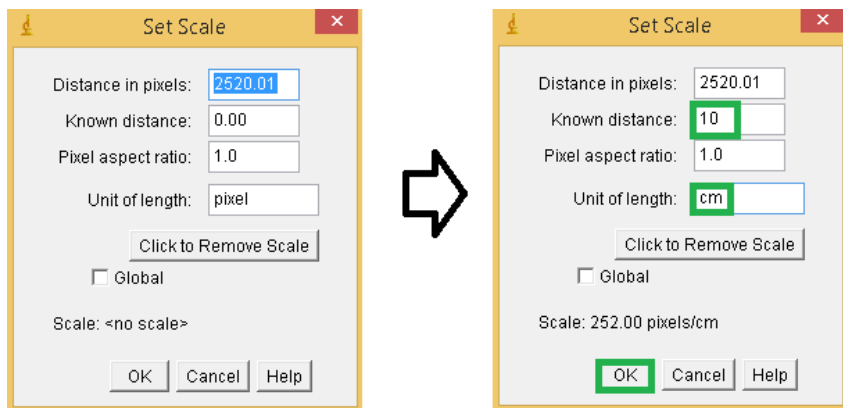
2) Abrir o imageJ[®] (dois clicks no imageJ.exe – a partir daqui é tudo no ImageJ);

3) *File* → *Open* (abrir a imagem .JPG desejada), no caso, “folha 52 por foto.JPG”;

4) Selecione a opção “Straight” (reta) e vá até a medida conhecida da foto digital e obtenha essa medida como mostrado a seguir a medida de 10 cm;



5) *Analyse* → *Set Scale* (Distance in pixels = 2520.01 no caso; Known distance = 10; Unit of length = cm; ok – traz a leitura linear em cm, e área em cm²);



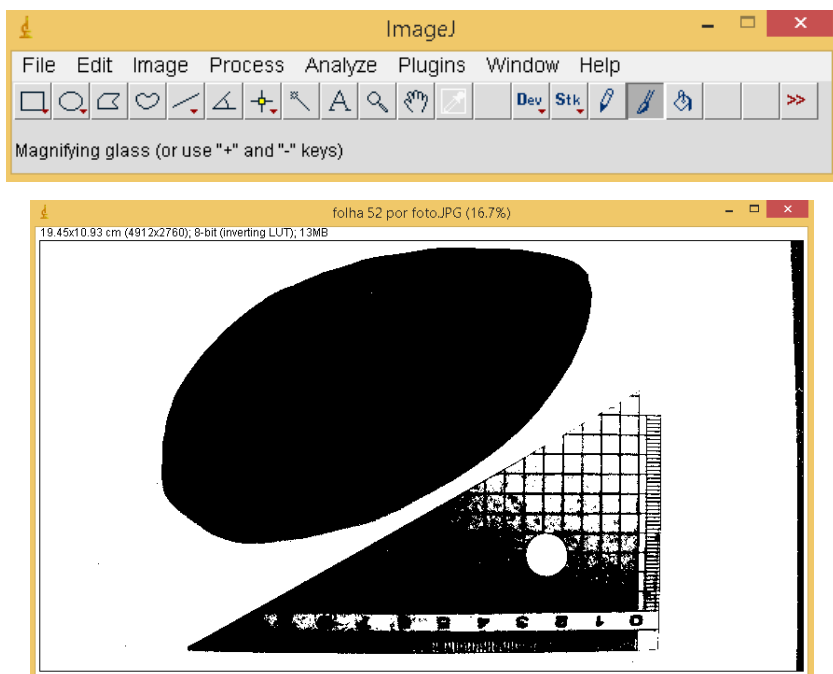
6) Selecione a opção Straight (reta) e faça as medidas de comprimento e largura das folhas, acionando $\text{ctrl} + \text{M}$ para salvar as medidas;

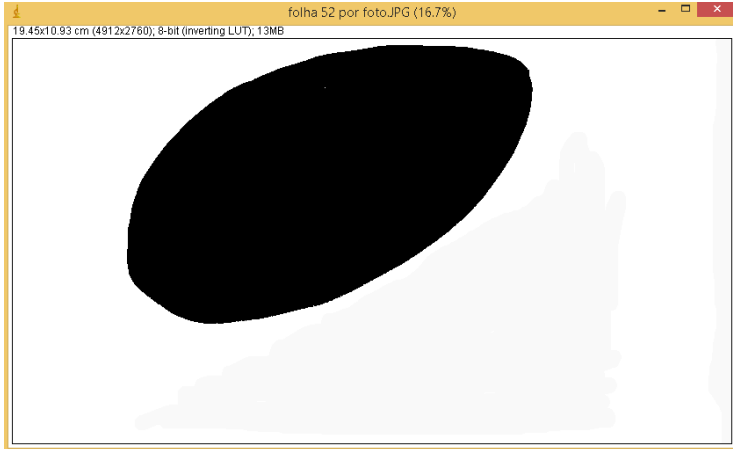
7) Separar o limbo foliar do fundo. Na janela Image, selecione *Adjuste* → *Color Threshold*. Considerando que a coloração verde do limbo foliar é bem contrastante com o fundo branco, normalmente usado para fotografar a folha, pode deixar todas as configurações originais (Hue = 0 a 255; Saturation = 0 a 255; Brightness = 0 a 255; Threshold method = Default; Threshold color = B&W; Color space = HSB). Acionar a caixa select (aparecerá o limbo foliar com os contornos marcados, indicando o perímetro que será medida a área);

8) *Process* → *Binary* → *Make binary*. Caso necessite, use também *Process* → *Binary* → *Fill Holes* (isto corrige

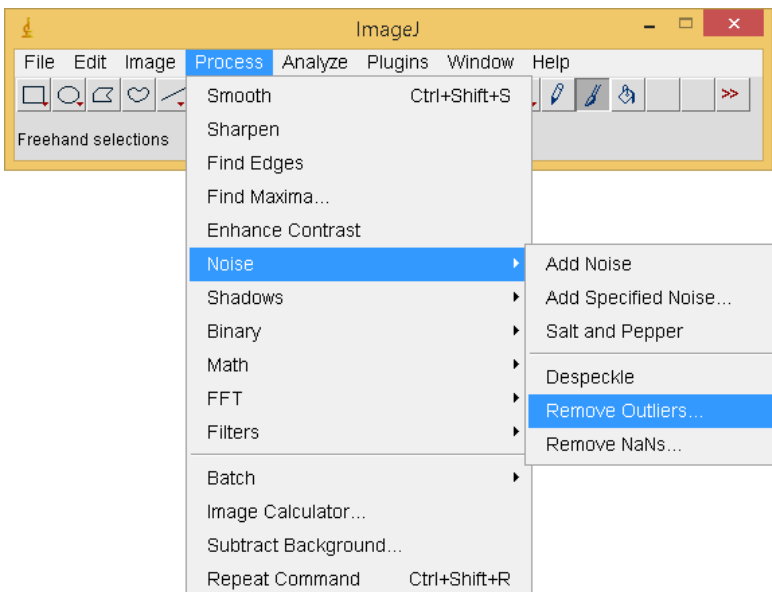
pontos brancos que não seriam computados como área, caso exista);

9) Use a ferramenta “Paintbrush” (pincel) para remover grandes aglomerados de pixels que não pertencem ao objeto de interesse. Click duas vezes em pincel e na opção “Brush width (pixels) coloque o valor 100, ou o que achar mais adequado de acordo com sua foto digital;



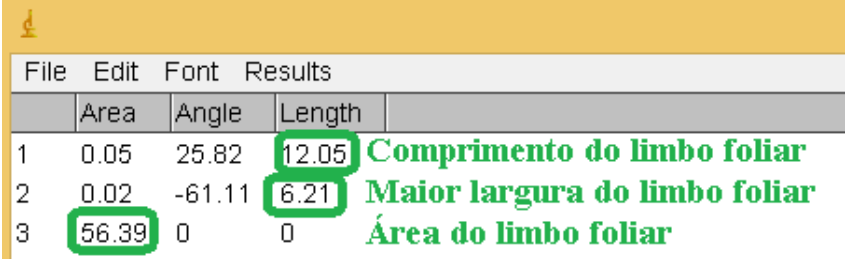


10) Remova os “Outliers” e para tal, acione *Process* → *Noise* → *Remove Outliers*. Nas opções disponibilizadas preencha Radius: 10, Threshold: 50, Which outliers: Dark, click em Preview para conferir se está correto;



11) *Analyse* → *Set Measurements* – marque Área e Limite Threshold (isso irá selecionar a área a ser lida, apenas do limbo foliar);

12) *Analyze* → *Measure*.



	Area	Angle	Length	
1	0.05	25.82	12.05	Comprimento do limbo foliar
2	0.02	-61.11	6.21	Maior largura do limbo foliar
3	56.39	0	0	Área do limbo foliar

Para todos os métodos citados, há sempre a necessidade de cuidados para que se certifique que, de fato, tão somente seja medida a área do limbo foliar e na sua totalidade. Desta forma, chama-nos a atenção o uso de integradores de área foliar como o LI-3100C e o AM350 na necessidade de certificar-se que as folhas não foram “dobradas” durante o processo. Esse mesmo cuidado também deve ser observado com as folhas escaneadas ou obtidas por fotos e uso imagens e o processamento pelo ImageJ®. Para esses casos, no entanto, fica mais fácil se descobrir o erro pelo fato de se observar as imagens.

Uma observação extra para se diminuir erros humanos no uso de imagens, é prover formas de obtenção das imagens sem a formação de “sombras”. Quando se obtêm as imagens

por escaneamento em impressoras, a tampa da impressora tem a função de deixar as folhas no plano, anulando a formação das “sombras”. No entanto, quando se usa as fotos digitais, as “sombras” podem aparecer, dada a própria anatomia das folhas. Para se diminuir esses erros com uso das fotos digitais, pode-se fazer, como recomendado por Agehara *et al.* (2020) usando uma prancheta com um filme de plástico transparente. Nesse caso, as folhas ficarão entre a prancheta (com fundo vermelho para contrastar com o verde das folhas) e o filme de plástico.

3.3 Comparação dos métodos de medição da área foliar

Foram medidas a área do limbo foliar de 56 folhas de araçá (*P. cattleyanum* Sabine) utilizando seis métodos: LI-3100C; AM350; ImageJ® escaneado; ImageJ® foto; papel milimetrado; gravimétrico. Mediu-se também o comprimento e a maior largura do limbo foliar.

No medidor de área foliar LI-3100C a área é dada em cm², e o comprimento e a largura da folha foram obtidos em cm utilizando régua, uma vez que o equipamento não estava acoplado em um computador. Já no medidor de área foliar AM350 o comprimento e a maior largura são dados em mm e a área foliar em mm² e posteriormente convertidos em cm. O

comprimento e a maior largura do limbo foliar foram dados em cm e a área foliar em cm^2 no ImageJ®, tanto escaneado quanto por fotos digitais. No papel milimetrado o comprimento e a largura foram obtidos em mm e a área foliar em mm^2 e em seguida convertidos em cm. No método gravimétrico as medidas de comprimento e largura foram obtidas por régua e apresentados em cm e a área foliar representada por cm^2 , após conversão a partir do peso, como demonstrado anteriormente.

Para verificar se os métodos de determinação da área foliar mantêm entre si relações lineares válidas estatisticamente, determinou-se a correlação de Pearson da amostra de 56 folhas (Tabela 1). Como pode ser observado, as correlações entre os métodos são bem altas, todas significativamente diferentes de zero, indicando que a área foliar determinada por diferentes métodos têm alta relação linear entre si.

Uma outra forma de verificar o comportamento da área foliar observada entre os diferentes métodos é pela apresentação gráfica da linha 1:1 (AGEHARA *et al.*, 2020). Na Figura 6 apresentamos a linha 1:1 e a equação linear simples da relação entre a área foliar observada pelos diferentes métodos para a amostra de 56 folhas. Avaliando, visualmente a linha 1:1, percebe-se uma boa relação entre

todos os métodos. Entretanto, avaliando-se estatisticamente a equação linear simples, deseja-se que a relação entre a área foliar observada dos métodos forneça uma equação $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0^{ns} + \hat{\beta}_1^{ns}$, sendo $H_0: \beta_0 = 0$ vs $H_1: \beta_0 \neq 0$ e $H_0: \beta_1 = 1$ vs $H_1: \beta_1 \neq 1$. Para as cinco comparações realizadas (Figura 6), os pressupostos estatísticos são atendidos para a relação da área foliar observada entre os métodos e o padrão LI-3100C.

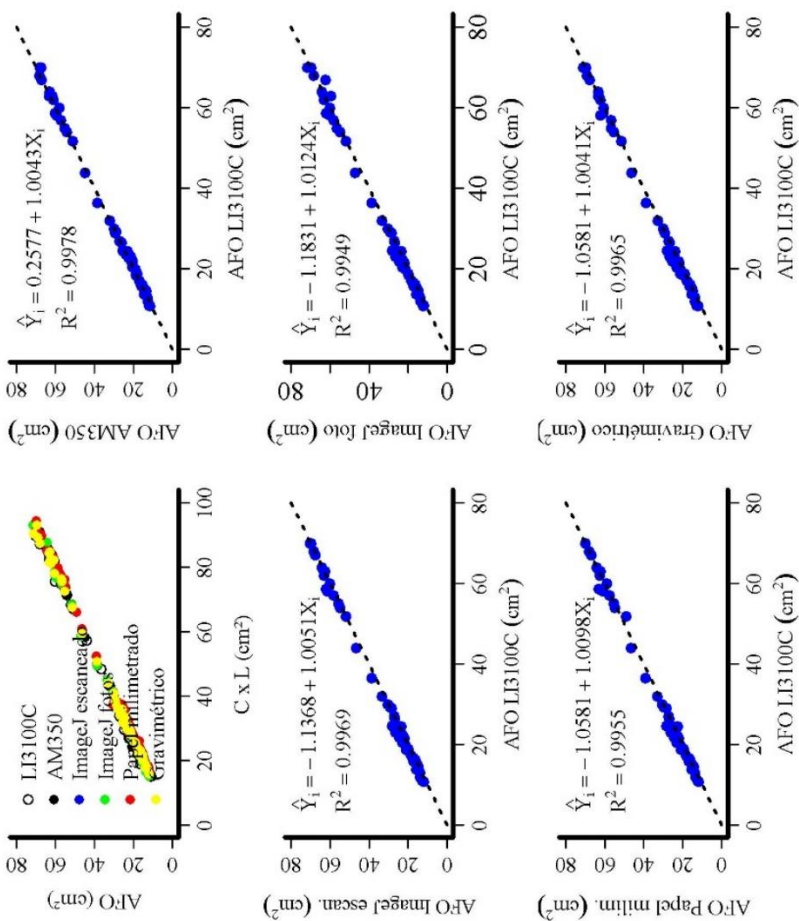
Tabela 1 - Análise de Correlação de Pearson entre a área foliar medida com o auxílio do LI-3100C, AM350, ImageJ® escaneado, ImageJ® foto e Papel milimetrado e gravimétrico de uma amostra de 56 folhas de araquá (*Psidium cattleianum* Sabine) de diferentes tamanhos

Método	LI-3100C	AM350	ImageJ® escaneado	ImageJ® foto	Papel milimetrado	Gravimétrico
LI-3100C	1,000	0,999**	0,998**	0,997**	0,998**	0,998**
AM350		1,000	0,998**	0,995**	0,998**	0,998**
ImageJ® escaneado			1,000	0,998**	0,999**	0,999**
ImageJ® foto				1,000	0,999**	0,998**
Papel milimetrado					1,000	0,993**
Gravimétrico						1,000

**Significativo a 1 % de probabilidade ($H_0: \rho = 0$; $H_1: \rho \neq 0$)

Fonte: Os autores

Figura 6 – Diagrama de dispersão da relação entre a área foliar observada (AFO) e a medida alométrica do produto entre comprimento (C) e maior largura (L) para 56 folhas de araquá (*P. cattleyanum* Sabine) por seis diferentes métodos de medição, e a regressão linear simples entre a AFO de cinco dos métodos em função do método LI-3100C (Linha tracejada corresponde à linha 1:1).



Fonte: Os autores

Apesar das considerações anteriores serem extremamente válidas, quando se trata de modelagem estatística, não apenas a área foliar observada é considerada, mas também as medidas alométricas do comprimento e maior largura das folhas, pois avalia-se a área foliar em função das medidas de comprimento, maior largura e o produto dessas duas medidas (CL). Para fazer esse tipo de verificação estatística, usa-se análise de covariância para os casos do modelo linear simples da área foliar observada por cada método em função de CL de cada método em que se verificou se o método tem efeito na constante ($\hat{\beta}_0$) e na inclinação ($\hat{\beta}_1$). Para tal procedimento, toma-se como padrão o método que usa o equipamento LI-3100C, como também realizado por outros autores (TAVARES JÚNIOR *et al.*, 2002; RODRIGUES, 2011; AGEHARA *et al.*, 2020).

Os resultados da estimativa das equações pelos diversos métodos são apresentados na Tabela 2. Considerando o método usando LI-3100C como padrão, os demais métodos podem ser usados como métodos alternativos, considerando-se que na análise de covariância verificou-se que o método de determinação da área foliar não tem efeito significativo ($p > 0,05$) na constante ($\hat{\beta}_0$) e na inclinação ($\hat{\beta}_1$), com exceção ao método do uso do papel milimetrado. De fato, esse método, dentre todos os

testados, em comparação com o LI-3100C, é o que tem a maior probabilidade de erro humano.

Tabela 2 – Equações para a área foliar estimadas (AFE) e coeficientes de determinação (R^2) obtidas para o modelo linear simples da área foliar observada (AFO) em função de medida de comprimento x maior largura (CL) de uma amostra de 56 folhas de araçá (*Psidium cattleyanum* Sabine) de diferentes tamanhos usando seis métodos de determinar a AFO, e o valor p para o teste de significância da constante e inclinação da análise de covariância da relação entre o método LI-3100C com os demais métodos de obtenção da AFO.

Método de obtenção da AFO	Equação	R^2	Covariância	
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$
LI-3100C	$AFE = 0,05781 + 0,7586CL$	0,9975	-	-
AM350	$AFE = -0,1021 + 0,7543CL$	0,9977	0,6163	0,5099
ImageJ® escaneado	$AFE = -0,4278 + 0,7535CL$	0,9990	0,1365	0,4341
ImageJ® foto	$AFE = -0,4245 + 0,7597CL$	0,9980	0,1396	0,8706
Papel milimetrado	$AFE = -0,8981 + 0,7544CL$	0,9977	0,0037	0,5042
Gravimétrico	$AFE = -0,4515 + 0,7654CL$	0,9980	0,1184	0,2986

Fonte: Os autores

3.4 Recomendações

Com base no exposto neste capítulo faz-se as seguintes recomendações:

a) Que a determinação da área foliar, de preferência seja feita por método não destrutivo, direto ou indireto;

b) Quando do uso do método indireto, que se use as equações já disponibilizadas na literatura;

c) Quando, para a espécie ou genótipo pesquisado, não se dispor de trabalhos de modelagem que indiquem as equações a serem usadas, que se faça a modelagem, podendo serem determinadas a área foliar tanto por LI-3100C, quanto por AM350, ImageJ® escaneado, ImageJ® foto ou gravimétrico;

d) Que se mencione nos trabalhos científicos qual dos métodos fora usado para se determinar a área foliar.

REFERÊNCIAS

- AGEHARA, S.; PRIDE, L.; GALLARDO, M.; HERNANDEZ-MONTERROZA, J. **A simple, inexpensive, and portable image- based technique for nondestructive leaf area measurements.** HS1395. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. 2020, 6p. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/hs1395>. Consultado em 17 jan 2022.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGAFILHO, L.J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.
- BRAGA, N. S.; ARAUJO, A. C. A.; ARAÚJO, I. D. A.; SOUZA, A. A. S. de; CUNHA, D. S. da; GIL, V. J. R.; ROCHA, I. de S.; ALMEIDA, J. V. S. de; SILVA, R. T. L. da. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de teca (*Tectonas grandis* L. f.). **Nucleus**, v. 15, n. 2, p. 331-339, 2018.
- CAMEN, D.; BEINSAN, C.; SUMALAN, R.; PASC, M. Research on the effect of arbuscular mycorrhizae on some physiological indices of lettuce- *Lactuca sativa* L. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v. 14, n.3, p. 128-130, 2010.
- COVAȘĂ, M. B.; JIȚĂREANU, C. D.; SLABU, C.; MARTA, A. E. Salinity stress effects on the growing rates of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture**, v. 72, n. 1, p. 279-280, 2015. DOI: 10.15835/buasvmcn-agr:10528
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A. L.; NEU, I. M. M.; FACCO, G. Estimação da área foliar de mucuna cinza por meio de método não destrutivo. **Ciência Rural**, Santa

Maria, v.42, n.2, p.238-242, fev. 2012.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000200009>

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; FRÓES GARCEZ NETO, A.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1436-1444, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>

LAVANHOLE, D. F.; OLIVEIRA, P. S.; VITÓRIA, E. L. da; AOYAMA, E. M. Estimativa de área foliar por meio de relações alométricas em *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B. SM sob distintas condições de luminosidade. **Iheringia. Série Botânica.**, v. 73, n. 3, p. 363-373, 2018. DOI:
<https://doi.org/10.21826/2446-8231201873313>

LEE, J.; MOON, T.; NAM, D. S.; PARK, K. S.; SON, J. E. Estimation of leaf area in paprika based on leaf length, leaf width, and node number using regression models and an artificial neural network. **Horticultural Science and Technology**, v. 36, n. 2, p. 183-192, 2018. DOI: 10.12972 / kjhst.20180019

MISGAN, Z.; DABA, G.; DEBELA, A. Modeling Leaf Area Estimation for Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Grown at different altitudes of Mana District, Jimma Zone. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 6, p.1292-1307, 2018.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2018.96095>

MOREIRA FILHO, E.C.; SILVA, D.S.; PEREIRA, W.E.; CABRAL JR., C.R.; ANDRADE, M.V.M; SILVA, G.E. e VIANA, B.L. Estimação da área foliar da flor de seda (*Calotropis procera*). **Arch. Zootec.**, v. 56, n. 214, p. 245-248, 2007.

OLIVEIRA, M.N.S.; LOPES, P.S.N.; MERCADANTE, M.O.; OLIVEIRA, G.L.; GUSMÃO, E. Medição da área foliar do

pequizeiro utilizando a soma da nervura principal dos folíolos. **Unimontes científica**, Montes Claros, v.3, n.3, p.1-7, 2002.
<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/unicientific a/article/view/2647/2641>

OLIVEIRA, V.S.; GOUVEA, R.R.; SANTOS, A.N.M.R.; SOUZA, L.C.; SANTANA, E.N.; KUHLCAMP, K.T.; SCHMILDT, O.; ARANTES, S.D.; SCHMILDT, E.R. Uso de dimensões lineares para estimar a área das folhas de *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh através de método não destrutivo. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 10, p. 30747-30750, 2019.

SALAZAR, J. C. S.; MELGAREJO, L. M.; BAUTISTA, E. H. D.; DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F. Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf area in cacao (*Theobroma cacao* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 229, p. 19-24, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.034>

RODRIGUES, M.A. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em crisântemo de vaso. **Revista de Agricultura**, v.89, n.1, p.24-28, 2014.
<https://doi.org/10.37856/bja.v89i1.59>

SANTOS, G. P.; OLIVEIRA, V. de S.; SCHMILDT, O.; SOUZA, J.M.; SANTOS, K. T. H. dos; SANTOS, J. S. H.; NASCIMENTO, A.L.; AMARAL, J.A.T. do; AMARAL, J.F.T. do; 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.

SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C. T.; HINER, M. C.; ELICEIRI, K. W. The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. **Molecular Reproduction and Development**, v. 82, n. 7-8, p. 518–529, 2015.
<https://doi.org/10.1002/mrd.22489>

SCHMILDT, E. R.; HUESO, J. J.; CUEVAS, J. Allometric models for determining leaf area of vine 'Sugraone'. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 29, n.10, p. 61-81, 2014. <http://ciencia-e-tecnica.org/view.php?v=29&i=10>

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, 2017. 10.17660/th2017/72.1.2

SCHMILDT, O.; SANTANA, E.N.; OLIVEIRA, V.S.; GOUVEA, R.R.; SOUZA, L.C.; SANTOS, A.N.M.R.; SILVA, S.M.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, G.P.; FANTON, C.J.; ARANTES, S.D.; SCHMILDT, E.R. Estimation of leaf area by linear dimensions in *Coffea dewevrei*. **International Journal of Plant & Soil Science**, v.28, n.6, p. 1-8, 2019.

SCHNEIDER, C.; RASBAND, W.; ELICEIRI, K. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nat Methods**, v. 9, p. 671–675, 2012. DOI: 10.1038/nmeth.2089

TAVARES-JÚNIOR, J.E.; FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; MAIA, A.H.N.; FAZUOLI, 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. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052002000200013>

TOEBE, M.; BRUM, B.; LOPES, S. J.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SILVEIRA, T. R. da. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciencia Rural**, v.40, n.2, Santa Maria, 2010.

ZANETTI, S.; PEREIRA, L. F.M.; SARTORI, M. M. P.; SILVA, M. A. Leaf area estimation of cassava from linear dimensions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1729-1736, 2017. <https://doi.org/10.1590/0001-376520172016-0475>.

CAPÍTULO 4

MODELAGEM DA ÁREA FOLIAR: OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA POR MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES UTILIZANDO O AMBIENTE R

Vinicius Souza Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical,
Doutorando em Agronomia
Contato: souzaoiveiravini@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7213222193584056>

Edilson Romais Schmidt

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.schmidt@ufes.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0648502408490406>

4.1 Introdução à modelagem

A teoria de regressão tem sua origem no século XIX com Galton e atualmente é utilizada em diversas áreas que varia desde a medicina, ciências biológicas, industrial, química, ciências agrárias, dentre outras, onde o principal objetivo é identificar qual a relação de duas variáveis. Assim, essa técnica tem como base o ajuste de equações matemáticas que ajudam a entender como uma variável

interfere na outra, desta forma, é possível prever qual será o comportamento de uma variável em detrimento a outra (OLIVEIRA, 2016).

A análise de regressão permite relacionar duas ou mais características sendo a variável independente ou variável resposta (eixo y) obtida através da variável independente ou variável explicativa (eixo x). Essa é a técnica estatística utilizada em estudos de modelagem matemática da área foliar, que tem por objetivo relacionar variáveis simples de serem obtidas como as dimensões da folha e relacioná-las com variáveis difíceis de mensurar como a área foliar, a fim de gerar equações que permitam estimar com precisão a área das folhas da espécie em estudo.

O uso de modelos matemáticos permite entender alguma característica que conhecemos através de outra característica conhecida. Em pesquisas, essa técnica é utilizada para prever o comportamento de fenômenos naturais (SCHMULLER, 2019). Na modelagem da área foliar, a variável dependente é a área foliar que se deseja estimar pelas equações, em contrapartida a variável independente são as dimensões lineares obtidas das folhas analisadas, sendo elas o comprimento, a largura ou a combinação de ambas. Neste capítulo, iremos mostrar como realizar a análise de regressão para a obtenção de equações matemáticas

de modelo linear de primeiro e segundo grau, além dos modelos não lineares de potência e exponencial com comandos desenvolvidos para o ambiente R (R CORE TEAM, 2022).

4.2 Modelo de regressão linear

No ambiente R, para a obtenção do ajustes dos modelos de regressão linear seja de primeiro, segundo ou qualquer outro grau do polinômio utilizamos a função ***lm()***, do inglês *linear models*. Essa função estima, pelo método dos mínimos quadrados, o coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) que é o valor onde a reta da regressão intercepta o eixo das ordenadas, valor do coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) que é o coeficiente da relação entre área foliar e a medida das dimensões lineares das folhas, assim, esse valor é quanto a área foliar irá variar quando houver a variação unitária das dimensões lineares das folhas.

4.2.1 Modelo de primeiro grau ou linear simples

Quando se deseja relacionar variáveis através da regressão linear de primeiro grau o modelo estatístico que representa esse tipo de equação será: $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$.

Veja o exemplo 1:

Analisando as medidas de 20 folhas de Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) foi possível chegar aos valores do comprimento (C) ao longo da nervura principal, largura máxima (L) do limbo foliar, produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL) e área foliar (AF), medidos pelo software ImageJ®. Os valores estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de comprimento (C), maior largura (L), produto comprimento vezes maior largura (CL) e área foliar (AF) medidos em 20 folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine)

FOLHA	C (cm)	L (cm)	CL (cm ²)	AF (cm ²)
1	5,63	2,67	15,04	11,72
2	6,14	2,86	17,55	13,58
3	6,38	3,19	20,34	14,83
4	6,96	3,34	23,26	18,67
5	7,37	3,4	25,08	19,7
6	7,45	3,4	25,31	19,82
7	7,77	3,75	29,14	22,08
8	7,50	4,30	32,22	25,22
9	8,72	3,99	34,75	26,25
10	9,00	4,38	39,45	31,75
11	9,54	5,01	47,82	37,94
12	10,44	5,61	58,53	45,22
13	11,92	5,97	71,22	54,22
14	11,67	6,19	72,23	56,57
15	12,26	6,10	74,80	58,83
16	11,96	6,49	77,60	60,74
17	12,51	6,41	80,22	61,05
18	13,14	6,19	81,34	62,82
19	12,79	6,52	83,33	65,75
20	13,16	6,86	90,30	68,60

Fonte: Os autores

Para o ajuste linear de primeiro grau, iremos gerar a equação que estime a área foliar (AF) através dos valores do produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL). Note que como desejamos prever os valores de AF ela deve ser utilizada como variável dependente (y) em função de CL como variável independente (x).

Inicialmente, iremos criar dois objetos no ambiente R com as variáveis que desejamos analisar da seguinte forma:

```
CL<-c(15.04, 17.55, 20.34, 23.26, 25.08, 25.31, 29.14,  
32.22, 34.75, 39.45, 47.82, 58.53, 71.22, 72.23, 74.8, 77.6  
,80.22, 81.34, 83.33, 90.3) #variável independente(x)
```

```
AF<-c(11.72, 13.58, 14.83, 18.67, 19.7, 19.82, 22.08, 25.22,  
26.25, 31.75, 37.94, 45.22, 54.22, 56.57, 58.83, 60.74,  
61.05, 62.82, 65.75, 68.60) #variável dependente(y)
```

Nota: no ambiente R, o separador decimal é o “.” e assim, o devido ajuste deve ser feito para a criação dos objetos.

De posse dos objetos, podemos ajustar o modelo de regressão de primeiro grau através da função **lm()**, obedecendo os seguintes comandos:

```

regpg<- # Objeto designado a regressão de primeiro
grau
(lm # Função para ajustes lineares
(AF~CL)) # Variáveis relacionadas para o ajuste da
equação

```

Em seguida, iremos empregar a função **summary()** ao objeto “regpg” para exibirmos o resumo da análise de variância da regressão linear de primeiro grau.

```
summary(regpg)
```

Call:

```
lm(formula = AF ~ CL)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.33077	-0.62653	0.03317	0.60906	1.20578

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.145204	0.386410	0.376	0.711
CL	0.772819	0.006875	112.408	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.7906 on 18 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9986, Adjusted R-squared: 0.9985

F-statistic: 1.264e+04 on 1 and 18 DF, p-value: < 2.2e-16

Note que a partir desta função é possível obter do coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) (0.145204), coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) (0.772819), o erro padrão (Std. Error) e valor do coeficiente de determinação (R^2) (Multiple R-squared = 0.9986).

Logo, podemos admitir que a equação linear de primeiro grau que explique o comportamento da área foliar (AF) em relação ao produto do comprimento com a largura (CL) será:

$$AFE = 0,145204 + 0,772819 (CL)$$

Onde,

AFE é a área foliar que será estimada pelo modelo ajustado e CL são os valores obtidos através do produto da multiplicação do comprimento com a largura da superfície foliar.

Ajustado o modelo, podemos representar graficamente a equação da reta para observarmos o comportamento das variáveis, para isso iremos usar a função **curve()**. A função **points()** exibe os valores observados do

eixo x e eixo y. É possível exportar os gráficos gerados através das funções **tiff()**, **png()**, **jpeg()**, **bmp()** e **pdf()**. O argumento **filename** é o nome do arquivo que se deseja criar, **width** e **height** refere-se as dimensões, **units** é a unidade, **pointsize** é a escala e **res** é a resolução do gráfico.

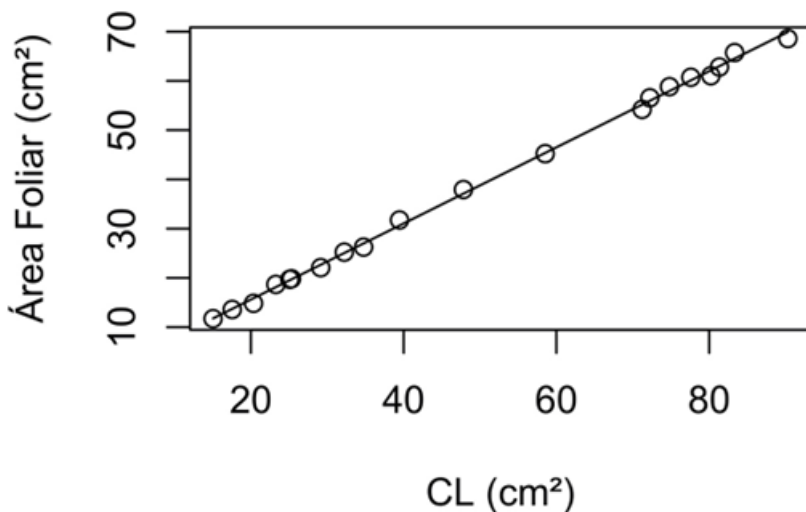
Para criar e exportar o gráfico da equação em formato jpeg utilizaremos os seguintes comandos:

```
jpeg("E:/dados/Figura1.jpg", width = 10, height = 8, units =  
"cm", pointsize = 12, res = 1200) #Figura1.jpg será salva no  
drive E na pasta dados.
```

```
curve(  
(0.145204+0.772819*x),          # equação ajustada  
xlim = c(15.04,90.3),          # limites do eixo x  
ylim = c(11.72,68.6),          # limites do eixo y  
xlab = "CL (cm2)",             # legenda do eixo x  
ylab = "Área Foliar (cm2)")    # legenda do eixo y  
  
points(CL, AF) # valores observados do eixo x e do  
eixo y  
  
dev.off()
```

Assim, o seguinte gráfico da Figura 1 será exibido:

Figura 1 – Ajuste de equação de regressão linear simples a partir da área foliar (AF) em função do comprimento x maior largura (CL) de uma amostra de 20 folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine).



Fonte: Os autores

4.2.2 Modelo de segundo grau ou quadrática

Para o ajuste linear de segundo grau, cujo modelo estatístico é $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + \hat{\beta}_2 x_i^2$, seguiremos com o exemplo 1 proposto anteriormente, utilizando os objetos CL e AF.

```
CL<-c(15.04, 17.55, 20.33, 23.26, 29.36, 25.31, 32.21, 25.07,
34.74, 39.44, 47.81, 58.52, 81.34, 80.22, 72.22, 90.29, 83.33,
74.79, 71.22, 77.59) #variável independente(x)
```

```
AF<-c(11.71, 13.58, 14.83, 18.67, 22.52, 19.81, 25.22, 19.70,  
26.25, 31.75, 37.93, 45.22, 62.81, 61.05, 56.56, 68.60, 65.74,  
58.83, 54.21, 60.74) #variável dependente(y)
```

No ambiente R, da mesma forma que para o modelo de primeiro grau, a função **lm()** é utilizada para gerar modelos de segundo grau. Entretanto, deve-se atentar a inclusão do parâmetro $\hat{\beta}_2$ à fórmula. Assim, os seguintes comandos devem ser executados:

```
regsg<-          # Objeto designado a regressão de  
segundo grau  
(lm            # Função para ajustes lineares  
(AF~CL+I(CL^2))) # Ajuste da equação
```

Aplicando a função **summary()** no objeto “regsg” teremos os seguintes resultado:

```
summary(regsg)
```

Call:

```
lm(formula = AF ~ CL + I(CL^2))
```

Residuals:

```
Min    1Q  Median    3Q    Max
```


-1.1377 -0.7169 0.1564 0.4986 1.4061

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)							
(Intercept)	-1.0695448	0.9495319	-1.126	0.276							
CL	0.8352374	0.0452858	18.444	1.12e-12 ***							
I(CL^2)	-0.0006030	0.0004326	-1.394	0.181							

Signif. codes:	0	****	0.001	***	0.01	**	0.05	‘.	0.1	‘ ‘	1

Residual standard error: 0.7707 on 17 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9987, Adjusted R-squared: 0.9986

F-statistic: 6649 on 2 and 17 DF, p-value: < 2.2e-16

Assim, teremos os valores do coeficiente $\hat{\beta}_0 = -1.0695448$, coeficiente $\hat{\beta}_1 = 0.8352374$, coeficiente $\hat{\beta}_2 = -0.0006030$, o erro padrão (Std. Error) e valor do coeficiente de determinação (R^2) (Multiple R-squared = 0.9987).

Logo, a equação de modelo linear de segundo grau ajustada entre a área foliar (AF) e o produto do comprimento com a largura (CL) será:

$$AFE = -1,0695448 + 0,8352374 (CL) - 0,0006030 (CL)^2$$

Onde,

AFE é a área foliar que será estimada pelo modelo ajustado e CL são os obtidos através do produto da multiplicação do comprimento com a largura da superfície foliar.

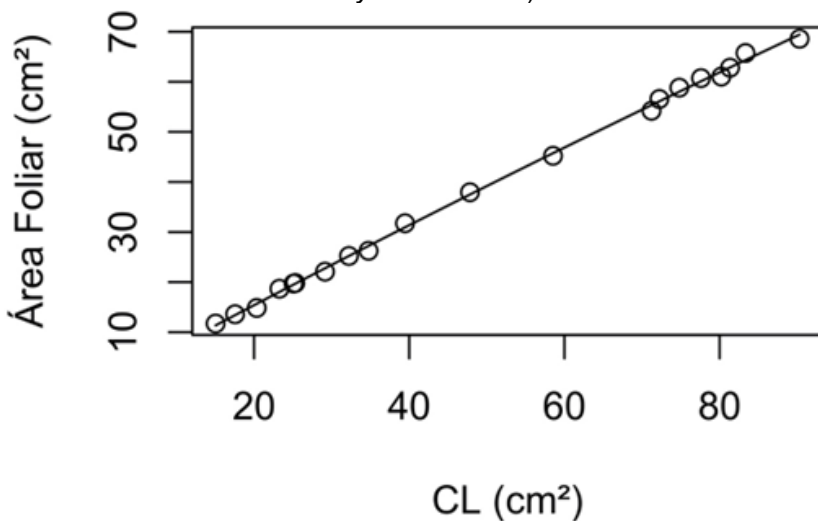
Os comandos para a representação gráfica do comportamento do modelo linear de segundo grau serão:

```
jpeg("E:/dados/Figura2.jpg", width = 10, height = 8, units =  
"cm", pointsize = 12, res = 1200) #Figura2.jpg será salva no  
drive E na pasta dados.
```

```
curve(  
(-1.0695448+0.8352374*x-0.0006030*x^2),      # equação  
ajustada  
xlim = c(15.04,90.3),                        # limites do eixo x  
ylim = c(11.72,68.6),                        # limites do eixo y  
xlab = "CL (cm²)",                            # legenda do eixo x  
ylab = "Área Foliar (cm²)")                  # legenda do eixo y  
  
points(CL, AF)    # valores observados do eixo x e do eixo y  
dev.off()
```

O gráfico contido na Figura 2 será exibido:

Figura 2 – Ajuste de equação de regressão linear de segundo grau a partir da área foliar observada (AFO) em função do comprimento x maior largura (CL) de uma amostra de 20 folhas de araçá (*Psidium cattleyanum* Sabine).



Fonte: Os autores

4.3 Modelo de regressão não linear

Para o ajuste de modelos de regressão não linear no R, como os modelos potência e exponencial por exemplo, utilizaremos a função ***nls()***, do inglês *Nonlinear Least Squares*, cujo os coeficientes $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ são estimados através do método dos mínimos quadrados não linear.

4.3.1 Modelo potência

Para o ajuste da equação de modelo potência $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 x_i^{\hat{\beta}_1}$ iremos novamente utilizar os valores obtidos no **exemplo 1**, entretanto, a variável independente (x) que vamos utilizar é o comprimento (C) da superfície foliar.

Assim, iremos criar os objetos “C” e “AF” com os valores de cada variável.

```
C<-c(5.62, 6.14, 6.38, 6.95, 7.77, 7.45, 7.49, 7.37, 8.71, 9.00,  
9.53, 10.43, 13.14, 12.51, 11.67, 13.15, 12.79, 12.26, 11.92,  
11.95) #variável independente(x)
```

```
AF<-c(11.71, 13.58, 14.83, 18.67, 22.52, 19.81, 25.22, 19.70,  
26.25, 31.75, 37.93, 45.22, 62.81, 61.05, 56.56, 68.60, 65.74,  
58.83, 54.21, 60.74) #variável dependente(y)
```

Com os objetos criados, iremos utilizar a função **nls()**, para relacionar as variáveis afim de se obter o ajuste da equação de modelo potência, através dos seguintes comandos:

```
potencia<-          # Objeto designado a regressão potencia  
nls(                # Função para ajustes não lineares  
AF~a*C^b),         # Ajuste de modelo potencia
```

```
start = c(a=1,b=1)) # Valores iniciais para a estimativa
```

Aplicando a função **summary()** no objeto “potencia” teremos o resumo da análise de variância.

```
summary(potencia)
```

Formula: $AF \sim a * C^b$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	0.36637	0.06467	5.666	2.25e-05 ***
b	2.02911	0.07191	28.218	2.36e-16 ***

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 2.423 on 18 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 7

Achieved convergence tolerance: 1.772e-06

Note, que para os modelos não linear o programa R não apresenta a estatística referente ao coeficiente de determinação (R^2), entretanto, para que seja possível efetuar

as devidas comparações com os modelos lineares podemos utilizar a expressão: $R^2 = 1 - \left(\frac{SQRES}{SQtotal}\right)$ (vide cap. 5), assim, é obtido o R^2 empírico para os modelos não lineares (KVALSETH, 1985; SOUZA, 1998; PAZ *et al.*, 2004; CRESCENTE-CAMPO *et al.*, 2010).

O R^2 para os modelos não lineares no ambiente R pode ser obtido da seguinte forma:

```
SQres <-sum(residuals(potencia)^2) #soma dos quadrados
do resíduo
SQtotal <-sum((AF-mean(AF))^2) #soma dos quadrados
total
SQRES/SQtotal
R2 <- (1-(SQres/SQtotal))
R2
0.9866416
```

Assim,

O coeficiente $\hat{\beta}_0 = 0.36637$, $\hat{\beta}_1 = 2.02911$ e o R^2 será 0.9866416.

Logo, a equação de modelo potência ajustada entre a área foliar (AF) e comprimento (C) das folhas será:

$$AFE = 0,36637 (C)^{2,02911}$$

Onde,

AFE é a área foliar que será estimada pelo modelo ajustado e C são os valores obtidos através do comprimento da superfície foliar.

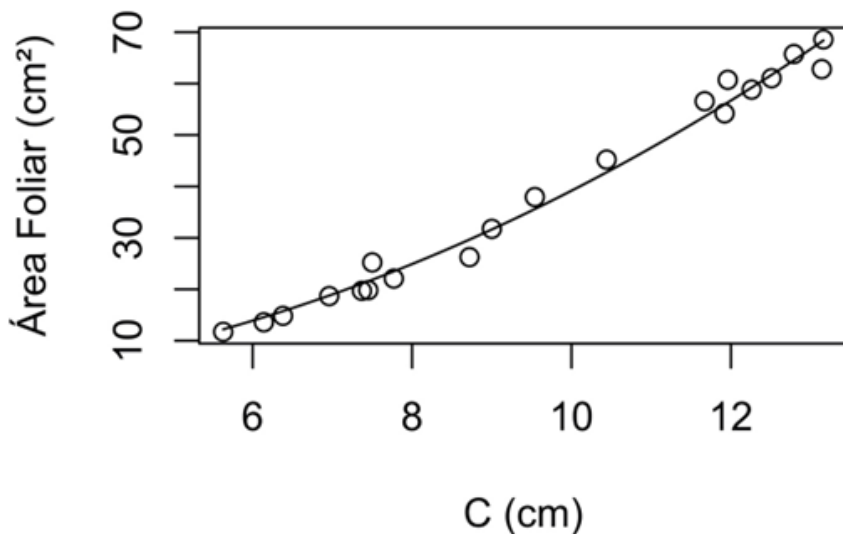
A representatividade gráfica do modelo potência pode ser feita através dos comandos a seguir:

```
jpeg("E:/dados/Figura3.jpg",width = 10,height = 8,units  
= "cm", pointsize = 12, res = 1200) #Figura3.jpg será  
salva no drive E na pasta dados.
```

```
curve(  
0.36637*x^2.02911,          # equação ajustada  
xlim = c(5.63,13.16),      # limites do eixo x  
ylim = c(11.72,68.6),      # limites do eixo y  
xlab = "C (cm)",           # legenda do eixo x  
ylab = "Área Foliar (cm²)" # legenda do eixo y  
points(C, AF)              # valores observados do eixo x e do  
eixo y  
  
dev.off()
```

Gerando o gráfico da Figura 3:

Figura 3 – Ajuste de equação de regressão potência a partir da área foliar observada (AFO) em função do comprimento (C) de uma amostra de 20 folhas de araquá (*Psidium cattleianum* Sabine).



Fonte: Os autores

4.3.2 Exponencial

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 x_i^{\hat{\beta}_1}$$

Seguindo os valores do **exemplo 1** e utilizando a área foliar (AF) como variável dependente (y) e o comprimento (C) da superfície foliar a variável independente (x) iremos ajustar o modelo exponencial representado por $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 e^{\hat{\beta}_1 x_i}$, onde $e = 2,7182$.

Primeiramente, iremos criar os objetos “C” e “AF” com os valores de cada variável.


```
C<-c(5.62, 6.14, 6.38, 6.95, 7.77, 7.45, 7.49, 7.37, 8.71, 9.00,  
9.53, 10.43, 13.14, 12.51, 11.67, 13.15, 12.79, 12.26, 11.92,  
11.95) #variável independente(x)
```

```
AF<-c(11.71, 13.58, 14.83, 18.67, 22.52, 19.81, 25.22, 19.70,  
26.25, 31.75, 37.93, 45.22, 62.81, 61.05, 56.56, 68.60, 65.74,  
58.83, 54.21, 60.74) #variável dependente(y)
```

Assim, como para o modelo potência, para o modelo exponencial a função **nls()**, deve ser utilizada para o ajuste, empregando a seguinte linha de comandos:

```
exponencial<-      # Objeto designado a regressão  
exponencial  
nls(               # Função para ajustes não lineares  
AF~a*exp(b*C),    # Ajuste de modelo exponencial  
start = c(a=1,b=1)) # Valores iniciais para a estimativa
```

Ao aplicar a função **summary()** no objeto “exponencial” o resumo da análise de variância será exibido.

```
summary(exponencial)
```

Formula: $AF \sim a * \exp(b * C)$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	4.858083	0.564741	8.602	8.59e-08 ***
b	0.203024	0.009801	20.715	5.25e-14 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.417 on 18 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 31

Achieved convergence tolerance: 7.409e-07

O R^2 pode ser obtido da seguinte forma:

```
SQRES <-sum(residuals(exponencial)^2)#soma dos  
quadrados do resíduo
```

```
SQTOT <-sum((AF-mean(AF))^2) #soma dos  
quadrados total
```

```
R2 <- 1-(SQRES/SQTOT)
```

```
R2
```

```
0.9734321
```

Assim, para o modelo exponencial o coeficiente $\hat{\beta}_0 = 4.858083$, $\hat{\beta}_1 = 0.203024$ e o R^2 é 0.9734321.

Logo, a equação ajustada para o modelo exponencial entre a área foliar (AF) e comprimento (C) das folhas será:

$$AFE = 4,858083e^{0,203024C}$$

Onde,

AFE é a área que será estima pelo modelo ajustado e C são os valores obtidos através do comprimento da superfície foliar.

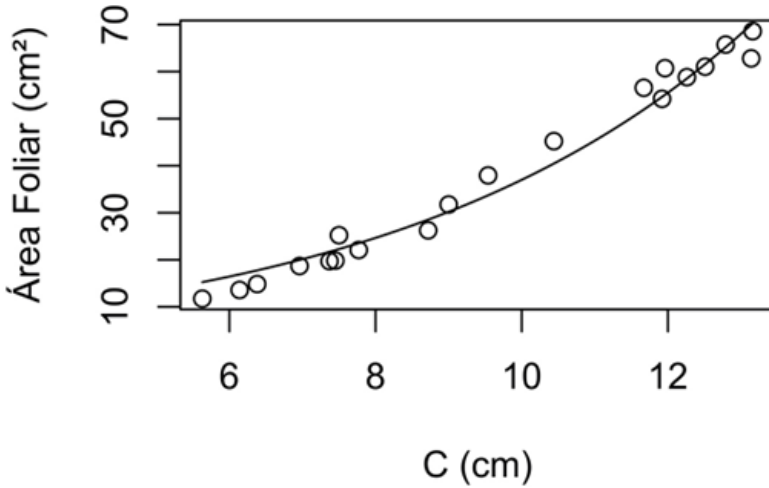
O gráfico para o modelo exponencial (Figura 4) pode ser gerado através dos seguintes comandos:

```
jpeg("E:/dados/Figura4.jpg", width = 10, height = 8, units =  
"cm", pointsize = 12, res = 1200) #Figura4.jpg será salva no  
drive E na pasta dados.
```

```
curve(  
4.858083*exp(0.203024*x),      # equação ajustada  
xlim = c(5.63,13.16),        # limites do eixo x  
ylim = c(11.72,68.6),        # limites do eixo y  
xlab = "C (cm)",              # legenda do eixo x  
ylab = "Área Foliar (cm²)")   # legenda do eixo y  
points(C, AF)                 # valores observados do eixo x e do eixo y  
dev.off()
```

Obtendo a seguinte representação:

Figura 4 – Ajuste de equação de regressão exponencial a partir da área foliar observada (AFO) em função do comprimento (C) de uma amostra de 20 folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine).



Fonte: Os autores

REFERÊNCIAS

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística aplicada**. 2ª ed. São Paula: Atlas, 1985.

CRESCENTE-CAMPO, F.; SORES, P.; TOMÉ, M.; DIÉGUEZ-ARANDA, U. Modelling annual individual-tree growth and mortality of scots pine with data obtained at irregular measurement intervals and containing missing observations. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.1965–1974. 2010. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.08.044

KVALSETH, T.O. Cautionary note about R^2 . **The American Statistician**, v.39, n.4, p.279-285, 1985.

MELLO, M. P.; PETERNELLI, L. A. **Conhecendo o R: uma visão mais que estatística**. Viçosa, MG: UFV, 2013, 222p.

OLIVEIRA, E. A. **Métodos para análise de concordância: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2016. 177 p.

PAZ, C. C. P.; PACKER, I. U.; FREITAS, A. R.; TAMBASCOTALHARI, D.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M.; CRUZ, G. M. Ajuste de modelos não lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1416-1425, 2004. DOI: 10.1590/S1516-35982004000600008

PEIXOTO, L. A. **Experimental Analytics Corporation**. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba, SP, Brasil: LIVRARIA NOBEL S.A., 1990. p.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. <https://www.R-project.org/>.

SCHMULLER, J. **Análise estatística com R.** Tradução: Samantha Batista. Alta Books, 2019. 448p.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 505p.

CAPÍTULO 5

MODELAGEM: VALIDAÇÃO

Vinicius Souza Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical, Doutorando em Agronomia.

Contato: souzaoliveiravini@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7213222193584056>

Edilson Romais Schmidt

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.schmidt@ufes.br

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

5.1 Introdução

O uso de ferramentas computacionais permite minimizar os erros na obtenção de resultados gerados na análise de dados. Entretanto, as equações que descrevem o comportamento de determinado fenômeno natural, como o crescimento do limbo foliar e conseqüentemente a área da folha podem nem sempre estar alinhados com o real comportamento observado por esse fenômeno.

É fundamental a utilização de critérios estatísticos apropriados em estudos cujo objetivo é ajustar equações de modelo matemático para a determinação da área foliar para

assim, minimizar a ocorrência de erros por parte desses modelos quando em uso. Esses critérios de validação devem prever de forma mais precisa a área das folhas para que haja maior confiabilidade dos modelos estatísticos simulados. Esses métodos visam preparar as equações ajustadas para que possam ser usadas com exatidão posteriormente em outros trabalhos que envolvam a mesma espécie para quais elas foram destinadas

Deve-se ressaltar, que para as técnicas empregadas na validação serem precisas, uma amostra de folhas diferente daquelas usadas no ajuste das equações matemáticas deve ser utilizada, afim de mostrar com exatidão se estes modelos podem ser adotados em futuras simulações. Outra constatação importante a ser mencionada é que os valores das características obtidas das folhas utilizadas para a validação não devem extrapolar os valores utilizados na modelagem, pois podem levar a estimativas imprecisas da área foliar por parte destes modelos.

Neste capítulo, iremos conhecer os principais métodos utilizados para validar equações matemáticas obtidas através da técnica da modelagem. Deve-se ressaltar que para maior acurácia das equações geradas na modelagem é recomendado a adoção de mais de um critério de validação.

5.2 Índice de erros

Quando se trata do índice de erros, valores iguais a 0 indicam que a simulação é ideal, em contrapartida, valores abaixo, ou acima de 0, indicam simulação não perfeita (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011). Assim, quando mais próximo de zero for os valores do erro, os valores dos eixos x e eixo y terão maior conformidade sendo mais desejáveis (WILLMOTT, 1981).

Na prática, em estudos que envolvam a modelagem da área foliar, são encontradas as medidas do Erro Médio (E), Erro Absoluto Médio (EAM) e Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME). Pelo menos umas dessas medidas já foram relatadas em diversos trabalhos como critério de validação para equações que estime a área foliar de várias espécies vegetais (SCHMILDT *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2019a; OLIVEIRA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2020; ARAUJO *et al.*, 2021; CASTRO *et al.*, 2021; TOGNERE *et al.*, 2021).

O erro médio (E) é a medida de erro mais simples, entretanto, apesar de fornecer uma ideia do erro, essa medida tem interferência dos valores individuais positivos e negativos, já que quando similares eles se anulam, levando a subestimação dos valores do E dos modelos (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011).

O erro absoluto médio (EAM), diferentemente do erro médio não sofre interferência dos valores extremos positivos e negativos sendo uma medida considerada de muito robustez e precisão para modelos matemáticos que tem por objetivo reproduzir valores reais como os empregados na predição da área foliar.

A raiz do quadrado médio do erro (RQME) é similar ao EAM com a peculiaridade de sempre apresentar valores positivos, além da sensibilidade a grandes erros (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011) pois, em sua fórmula, a diferença dos valores da área foliar estimada pelos modelos e área foliar real observada é elevada ao quadrado. O RQME é importante ferramenta para validação de modelos matemáticos, pois ela determina o tamanho real do erro emitido pelos modelos. Essa técnica tem capacidade de identificar pequenos erros que possam aparecer diferentemente do coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (R^2) onde elevados valores da área foliar podem mascarar o erro (WILLMOTT, 1981).

Desta forma, o erro médio (E), erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado média do erro (RQME) podem ser obtidos, respectivamente, através das seguintes expressões:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)}{n}$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |AFE - AFO|}{n}$$

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{n}}$$

Onde,

AFE são os valores estimado de área foliar; AFO são os valores observados de área foliar; \overline{AFO} é a média dos valores da área foliar observada; e n é o número de folhas amostradas usadas para a validação.

5.3 Coeficiente de correlação (r) de Pearson

O coeficiente de correlação (r) é uma medida adimensional que foi introduzida por Karl Pearson e tem por objetivo, através de uma amostra de pares de dados X e Y, calcular a dispersão em relação a equação linear obtida pelo método dos mínimos quadrados ou o grau em que as variáveis se relacionam. Essa medida apresenta valores situados dentre o intervalo de ± 1 , sendo que os valores +1 ou -1 é indicativo de maior ajuste dos valores das variáveis em relação a reta ajustada, por outro lado, quando $r = 0$, não há relação linear entre as variáveis. Deve-se ressaltar, que

mesmo $r = 0$ não quer dizer que X e Y tem inexistência de relação, mas que essas variáveis não apresentam relação linear, assim, mesmo $r = 0$ as variáveis X e Y podem ter relação não linear perfeita (FONSECA *et al.*, 1989).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as variáveis X e Y pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}) (\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n})}}$$

Em que,

X_i , valores da amostra X; Y_i , valores da amostra Y; n é o número de observações.

O critério de interpretação dos valores do coeficiente de correlação (r) é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores do coeficiente de correlação (r) de Pearson e sua devida classificação.

r valor	Classificação
0	Nula
$0 < r \leq 0,30$	Fraca
$0,30 < r \leq 0,60$	Média
$0,60 < r \leq 0,90$	Forte
$0,90 < r \leq 1$	Fortíssima
1	Perfeita

Fonte: CARVALHO *et al.* (2004)

Apesar do coeficiente de correlação (r) mensurar o grau em que duas variáveis se relacionam, alta correlação não necessariamente quer dizer que estas variáveis têm alta concordância, assim, essa medida pode não expressar a real situação já que analisa apenas o grau de associação linear entre as variáveis (OLIVEIRA, 2016). Desta forma, essa medida não deve ser usada individualmente para a seleção de modelos em estudos de estimativa da área foliar, mas sim, deve ser usado em conjunto com outros critérios de validação para auxiliar as conclusões.

5.4 Coeficiente de determinação (R^2)

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida descritiva que aponta a variação que o a variável dependente (Y) é explicada pela equação do modelo matemático podendo assumir valores entre 0 a 1. Em outras palavras o R^2 indica quanto que a variável independente (X) ou variável explicativa influencia a variável dependente (Y), também conhecida como variável resposta. Essa medida também pode ser expressa em porcentagem, de 0 % a 100 %.

Assim, quando $R^2 = 1$, concluiremos que todos os pontos observados estão situados sobre o ajuste da regressão do modelo matemático, ou seja, a variável dependente (Y) é 100 % explicada pela variável independente

(X), nesse caso, o modelo teve ajuste perfeito aos pontos observados, não sendo constatados desvios em torno da equação estimada. Em contrapartida, se $R^2 = 0$, podemos dizer que a variável dependente (Y) não tem relação com variável independente (X), assim a equação ajustada através destas variáveis irá geral informações aleatórias de Y (FONSECA *et al.*, 1989).

Para modelos de regressão linear, o R^2 é uma estatística que descreve a qualidade do ajuste das equações. Nos modelos não lineares a utilização do R^2 como parâmetro também está associada a acurácia do ajuste, porém, por nem sempre apresentarem intercepto, nesses modelos o seu cálculo é dificultado, desta forma, por apresentar proximidade ao R^2 , portanto, para os modelos não lineares designamos o coeficiente de determinação como empírico (KVALSETH, 1985; SOUZA, 1998; PAZ *et al.*, 2004; CRESCENTE-CAMPO *et al.*, 2010). Assim, para efeitos comparativos na validação, tanto para os modelos lineares e não lineares o R^2 deve ser calculado, preferencialmente, através das expressões a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{ou} \quad R^2 = 1 - \left(\frac{SQ_{\text{res}}}{SQ_{\text{total}}} \right)$$

Em que,

R^2 é o coeficiente de determinação; Y_i , são os valores da variável dependente; \hat{Y}_i , são os valores estimados pela equação ajustada da variável dependente; \bar{Y} , são os valores médio da variável dependente; SQ_{res} , é a soma de quadrados do resíduo; SQ_{total} , é a soma de quadrados total.

É notória a utilização do coeficiente de determinação (R^2) em diversos estudos de modelagem da área foliar, pois este coeficiente é constantemente associado a equações de modelo matemático, sendo que valores de R^2 superior a 0,95 ou 95 % indicam elevada precisão da equação na estimativa da área foliar (BORGHEZAN *et al.*, 2010). Entretanto, o R^2 não deve ser utilizado unicamente como critério de concordância entre as variáveis em estudo, pois pode gerar estimativas imprecisas da área foliar, mas serve como auxílio na decisão do melhor modelo matemático para prever a área foliar da espécie desejada.

5.5 Índice de concordância (d) de Willmott

Como citado anteriormente, o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (R^2) não devem ser utilizados individualmente, pois podem não refletir a realidade da área foliar determinada pelos modelos. Como solução para este problema no ano de 1981 foi proposto por Cort J. Willmott o índice de concordância (d), esse índice faz

uma análise descritiva dos dados onde indica a precisão dos valores estimados da variável do eixo Y (variável dependente) a partir dos valores apresentados no eixo X (variável independente). Desta forma, independente da unidade de medida aplicada em cada variável, esse índice pode ser simplesmente utilizado e entendido para a comparação destas variáveis (WILLMOTT, 1981).

Em estudo de modelagem para a predição da área foliar, o índice de concordância d avalia a relação entre área foliar proposta pelos modelos ajustados com as medidas lineares obtidas do limbo foliar (comprimento, largura ou a combinação de ambas) a fim de dizer se essas equações são realmente precisas. Assim, o índice de concordância d pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{\sum_{i=1}^n (|AFE - \overline{AFO}| + |AFO - \overline{AFO}|)^2} \right]$$

Em que,

AFE são os valores estimado de área foliar, AFO são os valores observado de área foliar, \overline{AFO} é a média dos valores da área foliar observada, e n é o número de folhas amostradas usadas para a validação.

O índice d pode apresentar valores que variam de 0 a 1, onde $d = 0$ indicam a divergência entre os valores

estimados da área foliar com os valores das medidas lineares do limbo foliar e $d = 1$ é indicativo de total concordância entre os valores estimados da área foliar pelos modelos com os valores medidas lineares do limbo foliar. Desse modo, podemos entender que para uma melhor precisão dos modelos, valores do índice de concordância (d) de Wilmott devem estar mais próximos ao unitário. Essa medida, reflete o grau em que os modelos matemáticos têm de determinar a área foliar livre de erros, não sendo essa medida uma correlação ou associação entre as variáveis em estudo.

5.6 Índice de desempenho (c) de Camargo e Sentelha

O índice c proposto por Camargo e Sentelhas (1997), tem por objetivo testar o desempenho entre métodos ou modelos matemáticos. Esse índice é obtido através do produto da multiplicação dos valores de precisão dados pelo coeficiente de correlação (r) e pela exatidão indicada pelo índice de concordância (d) (WILLMOTT, 1981). Desta forma, o índice de desempenho c pode ser expresso através da fórmula:

$$c = r * d$$

O índice de desempenho c pode ser classificado de acordo com os critérios definidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do Índice de desempenho (c) de Camargo e Sentelhas (1997) e seu devido desempenho.

c valor	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,75 a 0,85	Muito bom
0,65 a 0,75	Bom
0,60 a 0,65	Mediano
0,50 a 0,60	Sofrível
0,40 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

5.7 Análise de coeficientes

A análise dos coeficientes permite identificar equações que predizem com confiabilidade a área foliar das espécies vegetais (TOEBE *et al.*, 2019). Para este tipo de verificação, inicialmente é necessário o ajuste de um modelo linear simples representado por $y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$, onde a área foliar estimada por cada modelo proposto na modelagem será utilizado como variável dependente em função da área foliar real como variável independente. Através do teste t de Student o coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) e o coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) serão analisados, testando as hipóteses $H_0: \beta_0 = 0$ versus $H_a: \beta_0 \neq 0$ e $H_0: \beta_1 = 1$ versus $H_a: \beta_1 \neq 1$.

Assim, se os resultados indicarem que o $\hat{\beta}_0$ é estatisticamente igual a zero podemos afirmar que quando a

área foliar real for zero a área foliar estimada pelos modelos também será zero. Embora, teoricamente, não existirá área foliar com zero de área, aceitar a hipóteses H_0 para o coeficiente linear e também para o coeficiente angular é importante para se mostra um bom ajuste do modelo a ser representado na linha 1:1. Quando o $\hat{\beta}_1$ for estatisticamente igual a um, é indicativo que a medida que a área foliar real aumentar em 1 cm^2 , o modelo irá crescer 1 cm^2 na estimava da área foliar.

5.8 Teste *t* de Student

Esta estatística foi usada na validação por Oliveira *et al.* (2019b). Consiste em comparar os valores médios da área foliar estimadas pelas equações ajustadas com os valores médios da área foliar real observada. Para esta técnica, a comparação é feita ao nível 1 a 5 % de probabilidade de erro. Os valores da área foliar estimada e da área foliar real observada não devem diferir significativamente, sendo que maiores valores de *p* indicam maior semelhança entre as duas variáveis, portanto são mais desejáveis.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. T., FARIA, E. M., CUNHA, G. L., NUNES, P. M., OLIVEIRA, V. S., SANTOS, K. T. H., SCHMILDT, O., FALQUETO, A. R., TOGNELLA, M. M. P., SCHMILDT, E. R. Adjustment of mathematical equations to determine the area leaf of *Cordia myxa* L. **Agricultural Sciences**, v.11, p.609-616, 2020. DOI: 10.4236/as.2020.117038.

BORGHEZAN, M., GAVIOLI, O., PIT, F.A., SILVA, A.L. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de variedades de videira à campo (*Vitis vinifera* L.). **Ciência Técnica e Vitivinícola**, n.25, v.1, p.1- 7, 2010.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CASTRO, A. C.; CONCEIÇÃO, G. S.; BRITO, G. S.; SANTOS, Q. B.; TOGNERE, J.; OLIVEIRA, V. S.; ARANTES, S. D.; SCHMILDT, O.; SCHMILDT, E. R. Método não destrutivo para determinação da área foliar de *Turnera subulata*. **Revista Ihes Ciência**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2021. DOI: 10.36524/ric.v7i1.1127.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora UFPel. 2004. 142p.

CRESCENTE-CAMPO, F.; SORES, P.; TOMÉ, M.; DIÉGUEZ-ARANDA, U. Modelling annual individual-tree growth and mortality of Scots pine with data obtained at irregular measurement intervals and containing missing observations. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.1965–1974. 2010. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.08.044

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística aplicada**. São Paulo: Atlas. 1985.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, 591 - 608, 2011. DOI: 10.1590/S0102-77862011000400009

KVALSETH, T.O. Cautionary note about R^2 . **The American Statistician**, v.39, n.4, p.279-285, 1985.

OLIVEIRA, E. A. **Métodos para análise de concordância: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2016. 177 p.

OLIVEIRA, V. S.; CARVALHO, C. F. M.; FRANÇA, J. M.; PINTO, F. B.; SANTOS, K. T. H.; SANTOS, J. S. H.; SANTOS, G. P.; PINHEIRO, A. P. B.; SCHMILDT, O.; CZEPAK, M. P.; ARANTES, S. D.; ALEXANDRE, R. S.; AMARAL, J. A. T.; VITÓRIA, E. L.; SCHMILDT, E. R. Allometric Model for Estimation of leaf area of *Garcinia brasiliensis* Mart. through non-destructive method. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.10, p.154-161, 2019a. DOI: 10.5539/jas.v11n10p154.

OLIVEIRA, V. S.; HELL, L. R.; SANTOS, K. T. H.; PELEGRINI, H. R.; SANTOS, J. S. H.; OLIVEIRA, G. E.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. P.; SCHMILDT, O.; CZEPAK, M. P.; ARANTES, S. D.; ALEXANDRE, R. S.; SCHMILDT, E. R. Estimation of leaf area of jackfruit through non-destructive method. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.6, p.77- 85, 2019b. DOI: 10.5539/jas.v11n6p77

OLIVEIRA, V. S.; SILVA, J. V. G.; JARDIM A. S.; LONGUE, L. L.; AZEVEDO, A. L. R.; FERNANDES, A. A.; SANTOS, G. P.; SCHMILDT, O.; POSSE, R. P.; ARANTES, S. D.; SCHMILDT, E. R. Ajuste de equações matemáticas para determinar a área foliar de mudas de *Allagoptera arenaria* de forma não destrutiva. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 3, p. 34399-34402, 2020.

PAZ, C. C. P.; PACKER, I. U.; FREITAS, A. R.; TAMBASCO-TALHARI, D.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M.; CRUZ, G. M. Ajuste de modelos não lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1416-1425, 2004. DOI: 10.1590/S1516-35982004000600008.

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. 12, n. 4, p. 654-659, 2020. DOI: 10.21475/ajcs.20.14.04.p2291.

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 Agrônômica**, v. 46, n. 4, p.740-748, 2015. DOI: 10.5935/1806-6690.20150061

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 505p.

TOEBE, M.; SOUZA, R.R.; MELLO, A.C.; MELO, P.J.; SEGATTO, A., Castanha, A.C. Leaf area estimation of squash 'Brasileirinha' by leaf dimensions. **Ciência Rural**. v.49, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180932.

TOGNERE, J.; MARQUES, I. R.; OLIVEIRA, I. L.; SCHMILDT, O.; OLIVEIRA, V. S.; TOGNELLA, M. M. P.; SCHMILDT, E. R. Estimação da área foliar de *Trema micrantha* em função das dimensões lineares. **Nucleus**, v.18, n.2, p.133-141, 2021. DOI: 10.3738/1982.2278.3969.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.
DOI:10.1080/02723646.1981.10642213

CAPÍTULO 6

TAMANHO DA AMOSTRA

Edilson Romais Schmidt

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.schmidt@ufes.br

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

Vinicius Souza Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical, Doutorando em Agronomia.

Contato: souzaooliveiravini@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7213222193584056>

6.1 Existe alguma orientação sobre o número de folhas a serem usados para se estimar as equações?

Uma das perguntas mais frequentes entre os pesquisadores que trabalham com modelagem da área foliar individual por métodos não destrutivos é quantas folhas irá usar para a estimativa das equações.

Primeiramente cabe lembrar que um trabalho com modelagem da área foliar individual se completa quando além da estimativa das equações por diferentes modelos, se

trabalha também com estatísticas adequadas na validação, assuntos esses tratados nos capítulos 4 e 5, respectivamente.

Concernente ao tamanho da amostra para estimativas da área foliar, Benincasa (2003) aconselha a retirada de folhas de 12 a 20 plantas. Orientando sobre o uso do software ImageJ® como recurso na estimativa da área foliar, Agehara *et al.* (2020) sugerem o uso de 100 folhas. No entanto, verifica-se que o número de folhas a serem usadas para a estimativa das equações de regressão é variável para diferentes espécies, de acordo com alguns pesquisadores que usaram critérios estatísticos para tal. Desta forma, Shen *et al.* (2018) trabalhando com a espécie dente de leão (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin), afirmam que o tamanho da amostra deve ser de no mínimo 10 folhas e, Cargnelutti Filho *et al.* (2015), também usando critérios estatísticos recomendaram 200 folhas para feijão de porco [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.].

Diante do exposto, percebe-se que o tamanho adequado da amostra parece variar em função da espécie ou genótipo trabalhado e do tipo de folha e que algum critério estatístico deva ser usado. No entanto, nem sempre os autores usam a mesma metodologia estatística para determinação do tamanho da amostra. Desta forma, considerando que há vários aspectos que determinam o

tamanho amostral, faremos algumas abordagens sobre o tema para ao final lançarmos algumas recomendações.

6.2 Por que se tem usado quantidades diferentes de folhas na estimativa das equações?

Como abordado anteriormente, poucas são as referências voltadas a esse assunto e, desta forma, muitos dos diferentes trabalhos de modelagem usam diferentes tamanhos de amostra por questão de falta de acesso a estas referências. A referência de Benincasa (2003) que sugere o uso de 12 a 20 plantas, foi publicada em português e não se encontra disponível on-line. A segunda referência citada, de Agehara *et al.* (2020) é considerada recente e, portanto, também desconhecida da maioria dos pesquisadores, apesar de ter sido publicada em inglês e estar disponível on-line.

Alguns trabalhos usaram 100 folhas para a estimativa das equações, mesmo não usando qualquer referência para tal tamanho amostral (JADOSKI *et al.*, 2012; MORAES *et al.*, 2013; SCHMILDT *et al.*, 2017; POSTA; SALA, 2018). No entanto, a estimativa das equações tem sido executada usando diferentes tamanhos amostrais, desde menos de uma centena (SCHMILDT *et al.*, 2014a; LUCENA *et al.*, 2011; PERMANHANI *et al.*, 2014; SCHMILDT *et al.*, 2015;

HOLGUÍN *et al.*, 2019) até mais de um milhar (CHERNOVA, 2019; SHI *et al.*, 2019a; SANTOS *et al.*, 2019; TEOBALDELLI *et al.*, 2019).

Além do desconhecimento de referências, existem vários outros motivos que levam os pesquisadores a usarem quantidades diferentes de folhas, sendo o principal a quantidade de folhas adequadas disponíveis para o estudo e, neste caso, pode-se usar a totalidade das folhas disponíveis ou uma amostra destas.

Concernente ao uso do total de folhas disponíveis, citamos alguns trabalhos: Oliveira *et al.* (2019) usaram todas as 314 folhas de 60 mudas de mamoeiro Golden THB obtidas das mudas centrais de uma bandeja contendo 96 mudas em tubetes; Pinheiro *et al.* (2019) usaram 441 folhas compostas na modelagem da área foliar de “feijão da praia” (*Canavalia rosea*) a partir de 198 mudas avaliadas experimentalmente; Santos *et al.* (2019) usaram 2111 folhas que foram todas as folhas inteiras na avaliação de 320 mudas clonais de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner do clone LB1. Em todos esses trabalhos citados, o total folhas usadas foi tanto para as estimativas quanto para a validação e se tratava do uso de mudas.

Quando se trata de plantas adultas é mais conveniente o uso de amostra de folhas de diferentes plantas. Como

exemplo citamos a modelagem da área foliar de Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) (SCHMILDT *et al.*, 2017) em que os autores optaram por usar 100 folhas de tamanhos diferentes a partir de cinco plantas, retirando 5 folhas de cada um dos pontos cardeais de cada planta.

Poucos são os trabalhos que definem o tamanho da amostra usando algum critério estatístico. Neste capítulo apresentaremos quatro métodos de determinação do tamanho da amostra para modelagem de área foliar individual com especial ênfase ao método proposto por Schmildt *et al.* (2014b) com o qual faremos um exemplo de aplicação.

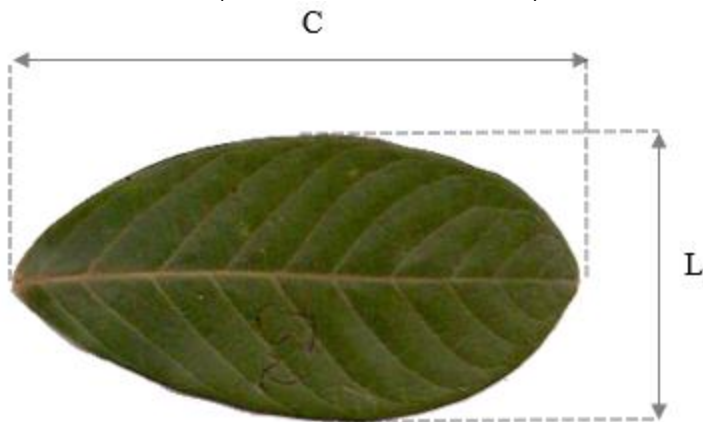
Antes de entrarmos nas estatísticas usadas nas metodologias de determinação do tamanho da amostra, precisamos elucidar outras questões não menos importantes sobre o tamanho da amostra nos estudos de modelagem da área foliar.

6.3 Embasamento estatístico do porquê a amostra não pode ser muito pequena

Para ilustrar alguns detalhes de interesse da modelagem da área foliar usaremos um exemplo real, a partir de folhas de araçá (*P. cattleyanum* Sabine), que é de formato elíptico como ilustra a Figura 1. Esta espécie se caracteriza por folhas de mesmo formato nos vários estádios de

desenvolvimento e nas diversas idades das plantas. Cabe enfatizar que algumas considerações a seguir podem não ser válidas se a amostra de folhas da espécie a ser trabalhada possuir folhas de formatos diferentes na mesma planta como pode ser relatado em plantas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) (MONTEIRO *et al.*, 2005) e em *Jatropha nana* Dalz & Gibs (POMPELLI *et al.*, 2019).

Figura 1 – Representação de uma folha de arará (*Psidium cattleyanum* Sabine), sem o pecíolo, enfatizando o comprimento (C) e a maior largura (L) do limbo foliar usados na modelagem de área foliar (A foto não está em escala).



Fonte: Os autores

Estudos de modelagem da área foliar se dividem em duas partes, a primeira referente à estimativa das equações usando vários modelos, podendo ser apenas lineares ou

também não lineares, e a segunda parte que é a validação dos modelos, de preferência a partir de outra amostra de folhas.

A área foliar observada (AFO), na maioria das vezes, está em função de medidas lineares de comprimento (C) e maior largura (L) do limbo foliar ou produto entre C e L, que chamaremos de CL, ou ainda o somatório das duas medidas (C + L). Esta relação é explorada na modelagem gerando equações de acordo com cada modelo e qual medida do limbo foliar fora usado.

Para o exemplo em pauta, usaremos para a estimativa das equações uma amostra de 20 folhas de araquá de diferentes tamanhos, apresentadas na Tabela 1 em ordem crescente de AFO. As folhas foram digitalizadas em Scanner marca HP modelo Deskjet F4280®, sendo as imagens salvas em formato Tag Image File Format (TIFF) com 75 dpi. As imagens foram processadas com software ImageJ® (SCHINDELIN *et al.*, 2015), obtendo-se os valores de AFO, C e L.

A partir das 20 folhas separamos cinco grupos de folhas caracterizando cinco situações para futura estimativa das equações (AFE_i) ambas da AFO em função de CL: AFE1 será com as cinco folhas de menor AFO; AFE2 será com as 10 folhas seguintes de tamanho médio de AFO; AFE3 será

com as cinco folhas de maior AFO; AFE4 será com cinco folhas sendo a de menor AFO, a de maior AFO e três folhas de AFO intermediário; AFE5 com a AFO das 20 folhas. Ao contrário de trabalhos de experimentação na área fitotécnica onde se busca um baixo coeficiente de variação (CV), nos trabalhos de modelagem da área foliar espera-se que o CV seja o maior possível. Neste sentido, pelo que tudo indica, a equação que se distanciará do objetivo será a AFE3 cuja AFO apresenta CV menor que 10 % e as que melhor podem atingir o objetivo serão as que AFE4 com apenas cinco folhas de diversos tamanhos de AFO e a AFE5 que usa AFO das 20 folhas, ambas com CV maior que 50 % (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de comprimento (C), maior largura (L), produto comprimento vezes maior largura (CL) e área foliar observada (AFO) medidos em 20 folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) e as apresentações dos valores de AFO para estimativas de cinco equações (AFE1, ..., AFE5) de diferentes tamanhos amostrais juntamente com os respectivos valores de mínimo, máximo, média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

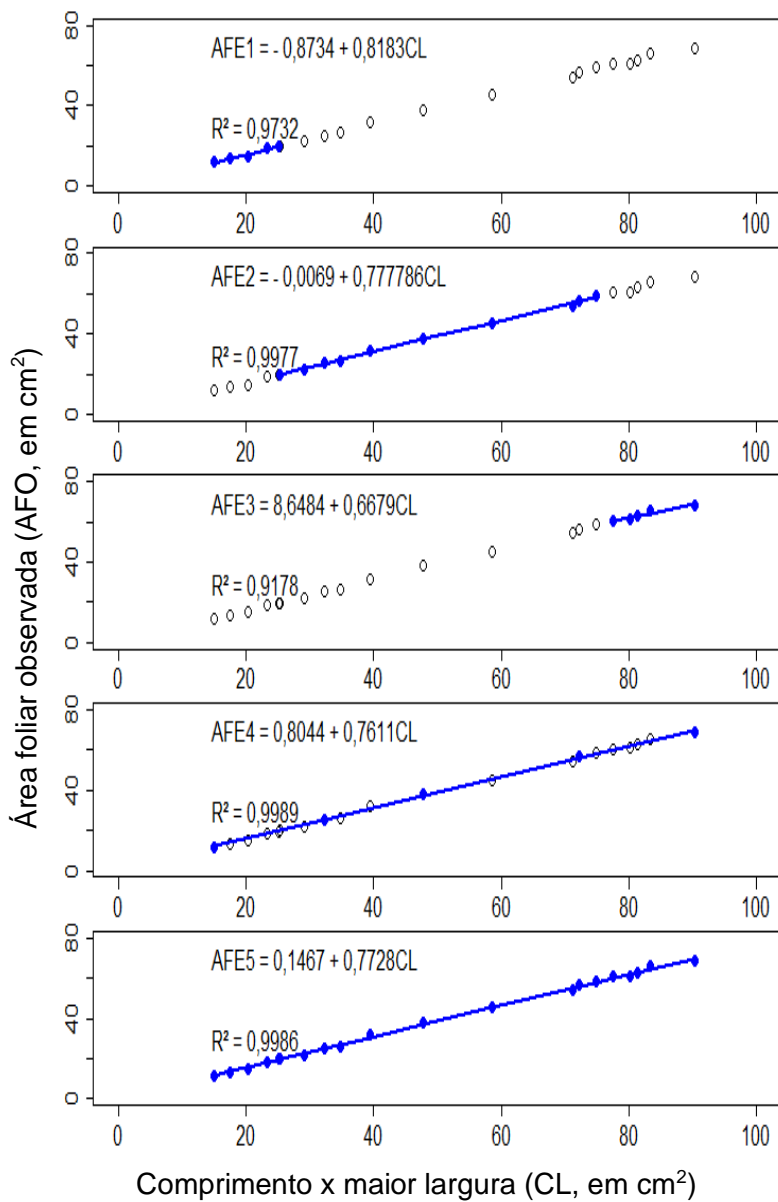
Folha	C	L	CL	AFO	AFO usada para estimar equações AFEi				
					AFE1	AFE2	AFE3	AFE4	AFE5
1	5,63	2,67	15,04	11,72	11,72			11,72	11,72
2	6,14	2,86	17,55	13,58	13,58				13,58
3	6,38	3,19	20,34	14,83	14,83				14,83
4	6,96	3,34	23,26	18,67	18,67				18,67
5	7,37	3,40	25,08	19,70	19,70				19,70
6	7,45	3,40	25,31	19,82		19,82			19,82
7	7,77	3,75	29,14	22,08		22,08			22,08
8	7,50	4,30	32,22	25,22		25,22		25,22	25,22
9	8,72	3,99	34,75	26,25		26,25			26,25
10	9,00	4,38	39,45	31,75		31,75			31,75
11	9,54	5,01	47,82	37,94		37,94		37,94	37,94
12	10,44	5,61	58,53	45,22		45,22			45,22
13	11,92	5,97	71,22	54,22		54,22			54,22
14	11,67	6,19	72,23	56,57		56,57		56,57	56,57
15	12,26	6,10	74,80	58,83		58,83			58,83
16	11,96	6,49	77,60	60,74			60,74		60,74
17	12,51	6,41	80,22	61,05			61,05		61,05
18	13,14	6,19	81,34	62,82			62,82		62,82
19	12,79	6,52	83,33	65,75			65,75		65,75
20	13,16	6,86	90,30	68,60			68,60	68,60	68,60
Mínimo	5,63	2,67	15,04	11,72	11,72	19,82	60,74	11,72	11,72
Máximo	13,16	6,86	90,30	68,60	19,70	58,83	68,60	68,60	68,60
Média	9,62	4,83	49,98	38,77	15,70	37,79	63,79	40,02	38,77
DP	2,62	1,44	26,38	20,40	3,39	14,97	3,34	23,00	20,40
CV	27,25	29,80	52,79	52,63	21,59	39,62	5,24	57,48	52,63

Fonte: Os autores

A partir das 20 folhas, usando o software Excel® (LEVINE *et al.*, 2017), foram estimadas as cinco equações no modelo linear simples ($AFE_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 CL$) que são apresentadas na Figura 2. A primeira a partir das cinco folhas de menor AFO ($AFE_1 = - 0,8734 + 0,8183CL$, $R^2 = 0,9732$), a segunda com as 10 folhas seguintes ($AFE_2 = - 0,0069 + 0,7786CL$, $R^2 = 0,9977$), a terceira com as cinco folhas de maior AFO ($AFE_3 = 8,6484 + 0,6679CL$, $R^2 = 0,9178$), a quarta usando cinco folhas de diversos tamanhos de AFO ($AFE_4 = 0,8044 + 0,7611CL$, $R^2 = 0,9989$) e a quinta equação com o uso de todas as 20 folhas ($AFE_5 = 0,1465 + 0,7728CL$, $R^2 = 0,9986$).

Figura 2 - Representação de cinco equações de regressão linear simples estimadas para área foliar (AFE_i) a partir da relação da área foliar observada (AFO) em função do produto do comprimento pela maior largura (CL) de folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) de diferentes tamanhos: AFE1 gerada a partir de cinco folhas de tamanho pequeno; AFE2 a partir de 10 folhas de tamanho médio; AFE3 a partir de cinco folhas de tamanho grande; AFE4 a partir de cinco folhas de diversos tamanhos; AFE5 a partir das 20 folhas.

Figura na próxima página >



Fonte: Os autores

Analisando o coeficiente $\hat{\beta}_0$ de equação linear simples a partir do uso de medida alométrica CL de folha elíptica, espera-se que este valor se aproxime de zero (RIBEIRO *et al.*, 2019), o que não ocorreu com a AFE3 onde observa-se que $\hat{\beta}_0 = 8,6484$, o que irá contribuir para superestimar o valor da área foliar, de folhas menores, como pode ser visto na estimativa de área foliar de uma outra amostra de 35 folhas de araçá na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de comprimento (C), maior largura (L), produto comprimento vezes maior largura (CL) e área foliar observada (AFO) medidos em 35 folhas de araçá (*Psidium cattleyanum* Sabine) e área foliar estimada (AFEi) para as mesmas 35 folhas a partir de cinco equações (AFE1, ..., AFE5) geradas de uma amostra de 20 folhas

Folha	C	L	CL	AFO	AFE1	AFE2	AFE3	AFE4	AFE5
1	5,47	2,89	15,78	12,08	12,04	12,28	19,19	12,82	12,34
2	5,47	2,94	16,06	12,87	12,27	12,50	19,37	13,03	12,56
3	6,37	3,27	20,82	16,47	16,16	16,20	22,55	16,65	16,24
4	6,19	2,94	18,17	14,73	13,99	14,14	20,78	14,63	14,19
5	6,39	2,91	18,56	14,38	14,32	14,45	21,05	14,93	14,49
6	5,79	2,88	16,69	12,94	12,78	12,99	19,79	13,50	13,04
7	6,11	3,12	19,04	15,16	14,70	14,81	21,36	15,29	14,86
8	6,10	3,34	20,38	15,81	15,81	15,86	22,26	16,32	15,90
9	7,59	3,88	29,48	22,41	23,25	22,94	28,34	23,24	22,93
10	5,69	3,57	20,30	15,18	15,74	15,80	22,21	16,26	15,84
11	6,55	3,16	20,70	15,52	16,07	16,11	22,48	16,56	16,15
12	7,36	3,21	23,61	18,57	18,45	18,38	24,42	18,78	18,39

Continua

Continuação da Tabela 2

13	6,50	3,30	21,45	17,28	16,68	16,69	22,97	17,13	16,72
14	7,14	3,75	26,74	21,53	21,01	20,81	26,51	21,16	20,81
15	8,45	3,47	29,37	22,53	23,16	22,86	28,26	23,16	22,84
16	7,35	3,65	26,85	20,57	21,10	20,90	26,58	21,24	20,90
17	8,29	3,55	29,43	23,04	23,21	22,91	28,31	23,21	22,89
18	8,09	3,73	30,18	23,75	23,82	23,49	28,81	23,77	23,47
19	7,83	3,57	27,97	20,89	22,02	21,77	27,33	22,09	21,76
20	7,59	3,70	28,10	21,29	22,12	21,87	27,42	22,19	21,86
21	8,01	3,66	29,32	22,84	23,12	22,82	28,23	23,12	22,81
22	8,25	3,88	32,02	24,81	25,33	24,92	30,03	25,17	24,89
23	7,99	3,53	28,18	21,68	22,19	21,93	27,47	22,25	21,92
24	8,22	4,18	34,35	26,82	27,23	26,74	31,59	26,95	26,69
25	8,23	3,99	32,80	24,42	25,96	25,53	30,55	25,77	25,49
26	8,49	3,89	33,03	25,16	26,16	25,71	30,71	25,95	25,68
27	8,95	3,94	35,20	27,81	27,93	27,40	32,16	27,59	27,35
28	8,85	4,38	38,77	29,18	30,85	30,18	34,54	30,31	30,11
29	8,50	3,98	33,78	26,51	26,77	26,30	31,21	26,52	26,25
30	12,65	6,41	81,12	61,53	65,51	63,16	62,83	62,55	62,84
31	12,70	6,28	79,76	60,34	64,39	62,09	61,92	61,51	61,78
32	11,97	5,78	69,20	53,29	55,75	53,87	54,87	53,47	53,62
33	12,28	6,33	77,70	59,20	62,71	60,49	60,55	59,94	60,19
34	12,84	6,73	86,36	65,78	69,80	67,23	66,33	66,53	66,89
35	12,86	6,68	85,83	67,67	69,36	66,82	65,98	66,13	66,48

Fonte: Os autores

Ainda a respeito das cinco equações geradas, a análise de variância das mesmas é verificada na Tabela 3, considerando a análise do coeficiente angular $\hat{\beta}_1$ e as

hipóteses $H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_0: \beta_1 \neq 0$. Observa-se que nas cinco equações rejeita-se a hipóteses de nulidade e, portanto, as equações geradas explicam a relação linear crescente. No entanto, os valores de $\hat{\beta}_1$ são bem diferentes entre as equações, especialmente na equação EFE3 onde $\hat{\beta}_1 = 0,6679$ (Figura 2) é a que tem o valor que mais se distancia do coeficiente de proporcionalidade ($k = AFO/CL$) de Montgomery (1911) que, segundo Shi *et al.* (2019b) deve ser o mais próximo possível de $k = \pi/4 \cong 0,7854$ para folhas elípticas.

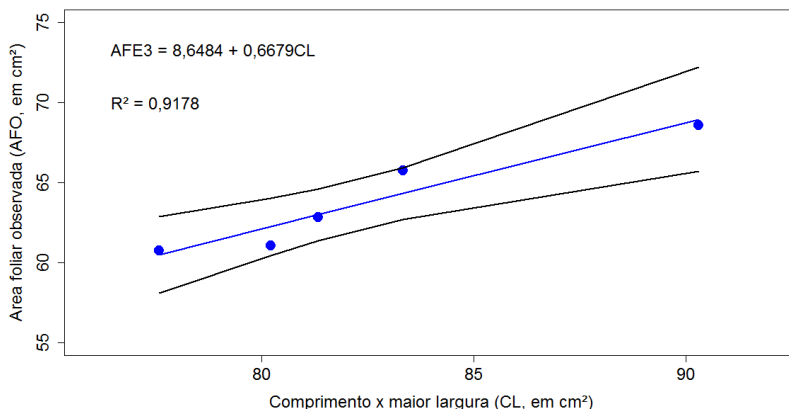
Tabela 3 – Resumo da análise de variância para a regressão linear simples (RLS) a partir dos dados de área foliar observada (AFO) em função do produto entre comprimento e maior largura para as amostras que geraram as cinco equações de área foliar estimada (AFE1, ... AFE5) de uma amostra de 20 folhas de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine)

Equação	n	Graus de liberdade		F	Valor p
		RLS	Erro		
AFE1	5	1	3	108,81	0,002
AFE2	10	1	8	3399,94	< 0,001
AFE3	5	1	3	33,51	0,010
AFE4	5	1	3	2658,71	< 0,001
AFE5	20	1	18	12647,05	< 0,001

Fonte: Os autores

Considerando que a equação AFE3 foi a que mais se diferenciou das demais, analisou-se o IC95% onde verificou-se que inclui todos os valores observados conforme a Figura 3, mostrando que outras equações poderiam ser ajustadas a partir de outros valores de AFO e CL. Portanto, sob o ponto de vista estatístico, a equação EFE3, apesar de ser a que mais se distanciou do $k = \pi/4 \cong 0,7854$ e possuir valor de $\hat{\beta}_0$ mais distante numericamente de zero, se mostra adequada para representar a área foliar de araquá. As outras quatro equações (AFE1, AFE2, AFE4 e AFE5) também se mostram apropriadas para representar a relação entre AFO e CL e conclui-se que o tamanho da amostra não foi um limitador para tal, apesar do problema persistir, pois, foram geradas equações diferentes.

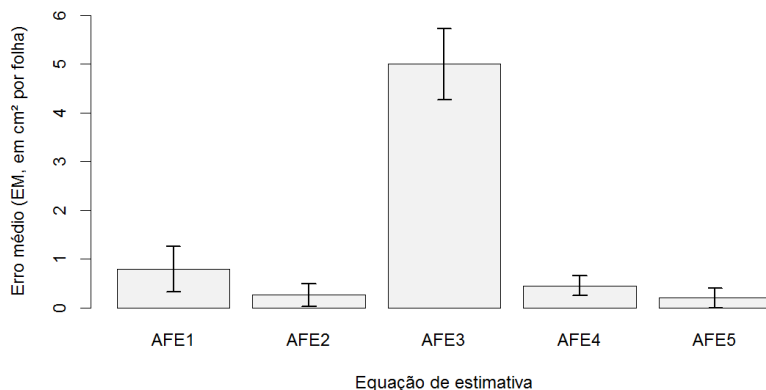
Figura 3 – Ajuste de equação de regressão linear simples (AFE3) a partir da área foliar observada (AFO) em função do comprimento x maior largura (CL) de uma amostra de cinco folhas de araquá (*Psidium cattleianum* Sabine) de tamanho grande com apresentação do intervalo de confiança a 95 %.



Fonte: Os autores

A impropriedade da equação EFE3 passa a ser observada quando se parte para as estatísticas de validação (abordadas com mais detalhes no capítulo 5). Na Figura 4 ilustramos o erro médio, $EM = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)/n$, a partir das cinco equações, com uso da amostra de 35 folhas de diversos tamanhos de araquá apresentada na Tabela 2. Verifica-se que o EM que deve ser o menor valor possível, apresentou o seu maior valor exatamente quando se usou a equação AFE3, onde constata-se que, em média, cada folha terá uma área foliar superestimada em 5,0 cm². Considerando o EM com seus respectivos intervalos de confiança, poderiam ser indicadas quaisquer uma das outras equações, apesar da equação AFE5 ter apresentado o menor EM.

Figura 4 - Erro médio (EM) da área foliar estimada (AFE_i) por cinco equações em relação à área foliar observada na validação usando 35 folhas individuais de araquá (*Psidium cattleianum* Sabine). Barras verticais indicam erros médios e linhas verticais indicam intervalo de confiança de 95 %.



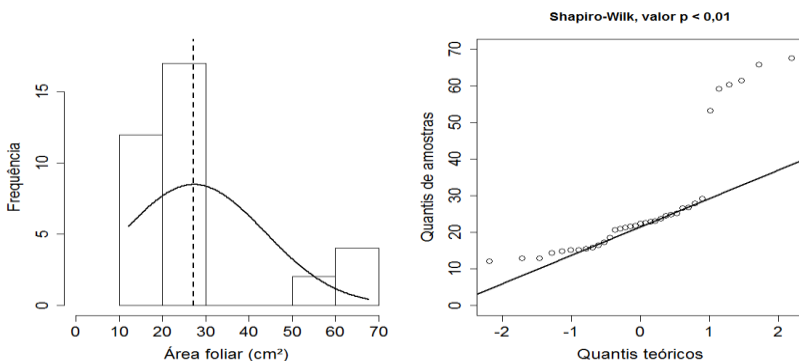
Fonte: Os autores

Apesar da estatística EM já ser eficiente para descartar a equação AFE3 dentre as cinco estimadas, ainda restam quatro equações diferentes e, portanto, um único critério de validação não se mostrou adequado para atingir o objetivo que é indicar a melhor equação, como também apontado por Schmildt *et al.* (2014a) na modelagem de área foliar de cafeeiro arábica. Desta forma, apresentamos, na Figura 5, um segundo critério de validação que é a análise dos erros sob o ponto de vista da distribuição normal, por meio da distribuição de frequência e do quantil-quantil e por meio do teste de Shapiro-Wilk. As análises apresentadas na Figura 5 são a partir da mesma amostra de validação

contendo 35 folhas, apresentada na Tabela 2. Na Figura 5, apresentamos também a análise de normalidade para a área AFO.

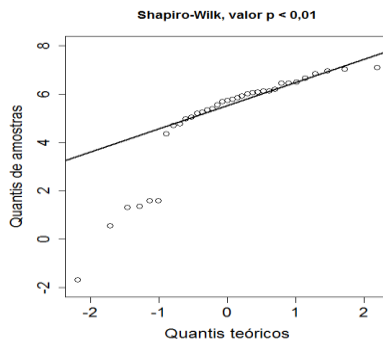
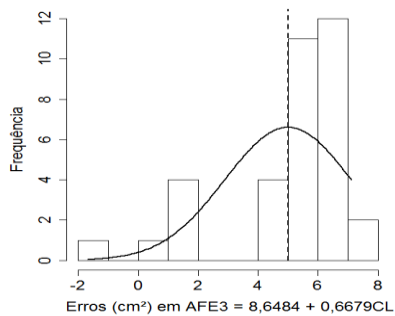
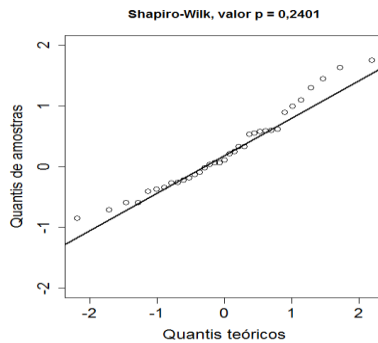
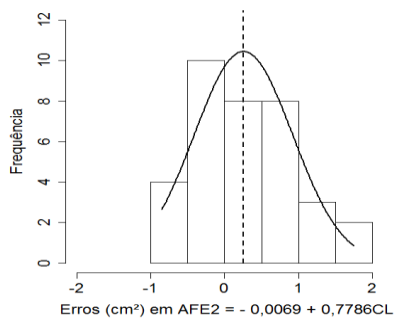
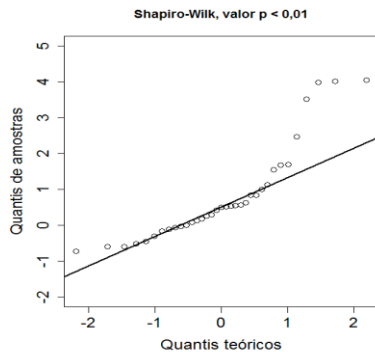
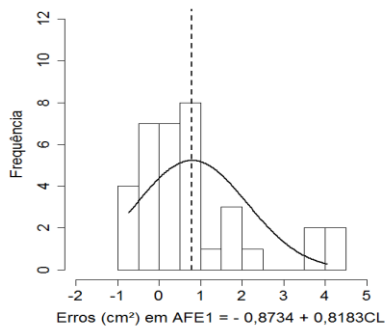
A amostra de folhas não apresentou distribuição normal para a área foliar (Figura 5), mostrando uma concentração de folhas de menor e de maior área foliar, como também pode ser visto na Tabela 2. Isto é interessante para este caso pois, independentemente de qual a função de distribuição de probabilidade que a área foliar apresente, se o modelo sugerido for adequado, os erros tendem a apresentar distribuição normal.

Figura 5 – Distribuição de frequência, quantil-quantil e valor p do teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade da área foliar e dos erros gerados a partir de cinco equações de estimativa da área foliar (AFE1, ..., AFE5) usando 35 folhas individuais de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine). Valor p de Shapiro-Wilk > 0,05 indica distribuição normal.



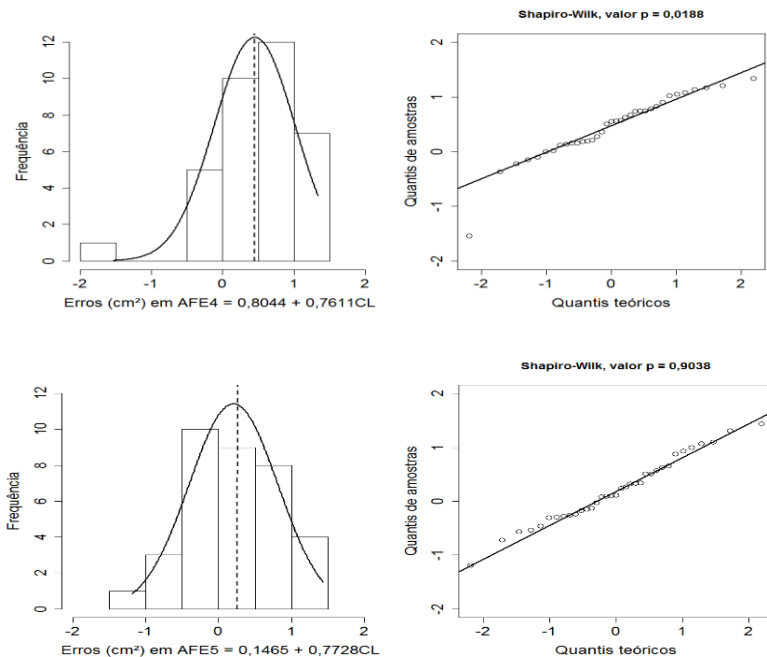
Continua ...

Figura 5 – Continuação ...



Continua ...

Figura 5 – Continuação ...



Fonte: Os autores

Analisando os erros produzidos pela diferença entre a AFE e a AFO para as cinco equações estimadas, percebe-se que, sem sombra de dúvidas a equação gerada a partir de todas as 20 folhas (AFE5 = 0,1465 + 0,7728CL), foi a mais adequada, apresentando nítida distribuição normal para os erros gerados, tanto pela frequência, quanto pelo quantil-quantil quanto pelo teste de Shapiro-Wilk, conforme Figura 5. A equação AFE2 = - 0,0069 + 0,7786CL também apresentou distribuição normal para os erros da validação, porém, não

deve ser indicada pois a sua estimativa não usou folhas de todos os tamanhos. Segundo Levine *et al.* (2017), uma equação para ser usada como estimadora deve ser obtida usando a maior amplitude total possível, desde os menores até os maiores valores, pois a estimativa não tolera extrapolações.

Os erros gerados a partir da equação que usou as cinco folhas de menor tamanho, a $AFE1 = - 0,8734 + 0,8183CL$, não mostraram distribuição normal, apresentando assimetria positiva (Figura 6.5). Também não é adequada a $AFE3 = 8,6484 + 0,6679CL$, que foi estimada a partir das cinco folhas de maior tamanho, com assimetria negativa. A equação $AFE4 = 0,8044 + 0,7611CL$, obtida a partir de cinco folhas de diversos tamanhos também não se mostrou adequada, apesar de que atende as premissas apontadas por centenas de autores dentre eles Schmildt *et al.* (2014a) e Leite *et al.* (2019) que citam que as folhas incluídas na amostra para se ajustar a equação devem conter folhas de diferentes tamanhos e durante todos os estágios de desenvolvimento morfológico, respectivamente. Outro fator em desfavor da equação $AFE4$, apontada anteriormente, é que, apesar da amostra usada na estimativa (Tabela 1) apresentar coeficiente de variação maior que 50 % e esperava-se bom ajuste, o que não ocorreu. Isto mostra que

o tamanho da amostra, apenas cinco folhas, foi pequeno. Shen *et al.* (2018) estudando a modelagem da área foliar de espécie dente de leão, trabalharam com tamanhos de amostra desde cinco até 50 folhas e verificaram que, sob o ponto de vista estatístico, amostras com apenas cinco folhas também se mostraram inadequadas, sendo necessárias no mínimo 10 folhas.

Sabe-se que na modelagem, o uso do modelo polinomial tem sido explorado até a equação cúbica (grau 3 ou equação de terceiro grau), dentre os quais podem ser citados vários trabalhos (QUEIROGA *et al.*, 2003; CASIERRA-POSADA *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2019, 2020). Abordando um pouco mais a questão da modelagem sob o ponto de vista estatístico da estimativa das equações, apresentamos a seguir, na Tabela 4 o tamanho mínimo para satisfazer critérios da escolha do modelo polinomial.

Pela análise da Tabela 4, infere-se que o tamanho mínimo da amostra, usando modelagem até equação cúbica, deve ser de cinco folhas pois há necessidade de pelo menos um grau de liberdade para o erro. Observa-se, no entanto, que o valor do $F_{\text{crítico}}$ é bem elevado e que dificilmente uma modelagem com cinco folhas alcançará o objetivo da significância estatística do modelo.

Tabela 4 – Resumo do valor crítico de F ($F_{\text{Crítico}}$) a ser considerado, a 5 % de probabilidade de erro, em uma análise de variância de regressão estudada em modelo polinomial com a partição dos graus de liberdade (GL) da regressão em linear simples (RLS), quadrática (RQ) e cúbica (RC) para cenários contendo diferentes tamanhos de amostra (número de folhas = n), desde n = 5 até n = 100 folhas para a modelagem estatística da área foliar

FV	n = 5 folhas		n = 6 folhas		n = 7 folhas		n = 8 folhas	
	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$
RLS	1	161,00	1	18,51	1	10,13	1	7,71
RQ	1	161,00	1	18,51	1	10,13	1	7,71
RC	1	161,00	1	18,51	1	10,13	1	7,71
Erro	1		2		3		4	
FV	n = 9 folhas		n = 10 folhas		n = 20 folhas		n = 100 folhas	
	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$	GL	$F_{\text{Crítico}}$
RLS	1	6,61	1	5,59	1	4,49	1	3,94
RQ	1	6,61	1	5,59	1	4,49	1	3,94
RC	1	6,61	1	5,59	1	4,49	1	3,94
Erro	5		6		16		96	

Fonte: Os autores

As análises estatísticas e gráficos foram realizadas usando os softwares Excel[®] (LEVINE *et al.*, 2017) e R (R CORE TEAM, 2022), respectivamente.

6.4 Determinação do tamanho da amostra

Considerando o exemplo com folhas de araçá até aqui apresentado verifica-se que o tamanho de amostra interfere na modelagem estatística para área foliar e que a modelagem a partir de cinco folhas apenas não se mostra adequada. O tamanho da amostra pode ser determinado estatisticamente e é variável em função da espécie e do método de estimação principalmente. Descrevemos na Tabela 5 uma pequena relação de autoria e espécies trabalhadas em que se determinou o tamanho mínimo da amostra (número de folhas) para as estimativas das equações.

Tabela 5 – Relação de alguns trabalhos com determinação do tamanho da amostra (n) na modelagem da área foliar

Espécie	n	Autoria
Dente de leão (<i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin)	10	Shen <i>et al.</i> (2018)
Chirimoya (<i>Annona cherimola</i> Mill.)	102	Schmidt <i>et al.</i> (2017)
Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> Sims. f. <i>flavicarpa</i> Degener)	49	Schmidt <i>et al.</i> (2016a)
Pata de vaca (<i>Bauhinia monandra</i> Kurz)	35	Schmidt <i>et al.</i> (2016b)
Feijão de porco (<i>Canavalia ensiformis</i>)	200	Cargnelutti Filho <i>et al.</i> (2015)
Pessegueiro 'BRS Kampai'	57	Sachet <i>et al.</i> (2015)
Videira (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Sugaone)	57	Schmidt <i>et al.</i> (2014b)

Fonte: Os autores

Quanto aos procedimentos para determinar o tamanho da amostra, citaremos a seguir o critério sugerido por Schmildt *et al.* (2014b) que propôs a seguinte equação:

$$n_{eq} = \frac{t_{\alpha/2}^2 RQME^2}{e^2 \overline{AFO}}$$

Em que,

n_{eq} é o tamanho da amostra para determinar a equação; \overline{AFO} é a média aritmética da AFO na amostra n de folhas usada para estimativa das equações; $t_{\alpha/2}$ é o valor crítico da distribuição t de Student, cuja área à direita é igual a $\alpha/2$ com $(n - 1)$ graus de liberdade, e com 5 % de probabilidade de erro; RQME é raiz do quadrado médio do erro; e é o erro na estimativa da média, sugerido como 5 %.

A RQME, que é uma estatística de validação, é dada por:

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AFE_i - AFO_i)^2}{n}}$$

Na modelagem feita por Schmildt *et al.* (2014b) com videira ‘Sugraone’ foi determinado o n_{eq} para 60 equações a partir de uma amostra de 200 folhas e o tamanho requerido para cada equação variou de $n_{eq} = 13$ folhas até $n_{eq} =$

57 folhas. Os autores consideraram então que o tamanho da amostra inicial de 200 folhas foi satisfatório.

Para o exemplo em questão, com 20 folhas de araçá, faremos a determinação do tamanho da amostra necessário para a modelagem da área foliar, segundo o método em questão, usando um erro de 3 % como adotado por Schmildt *et al.* (2017). Usaremos todas as 20 folhas e faremos a estimativa das equações de AFE a partir da relação entre AFO e C, L e CL para o modelo linear simples ($AFELS1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 C$; $AFELS2 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 L$; $AFELS3 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 CL$), quadrático ($AFEQ1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 C + \hat{\beta}_2 C^2$; $AFEQ2 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 L + \hat{\beta}_2 L^2$; $AFEQ3 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 CL + \hat{\beta}_2 CL^2$), potência ($AFEP1 = \hat{\beta}_0 C^{\hat{\beta}_1}$; $AFEP2 = \hat{\beta}_0 L^{\hat{\beta}_1}$; $AFEP3 = \hat{\beta}_0 CL^{\hat{\beta}_1}$) e exponencial ($AFEE1 = \hat{\beta}_0 e^{\hat{\beta}_1 C}$; $AFEE2 = \hat{\beta}_0 e^{\hat{\beta}_1 L}$; $AFEE3 = \hat{\beta}_0 e^{\hat{\beta}_1 CL}$). Na equação exponencial, $e = 2,71828$.

As 12 equações de estimativa juntamente com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e tamanho da amostra requerida (n_{eq}) são apresentados na Tabela 6. O modelo que requereu maior tamanho de amostra foi o exponencial, com $n_{eq} = 56$ folhas para o caso de se usar CL como medida alométrica em função de AFO. Considerando que o tamanho da amostra para estimativa das equações foi de apenas 20 folhas, requer-se que aumente o tamanho da

amostra para 56 ou maior e refaça-se nova estimativa das equações.

Tabela 6 – Equações estimadas (AFE_i) e coeficientes de determinação (R²) na modelagem da área foliar de araquá (*Psidium cattleyanum* Sabine) para os modelos linear simples, quadrático, potência e exponencial da área foliar observada em função de medidas de comprimento (C), maior largura (L) e de comprimento x maior largura (CL), e tamanho da amostra requerida (n_{eq}) para estimar as referidas equações.

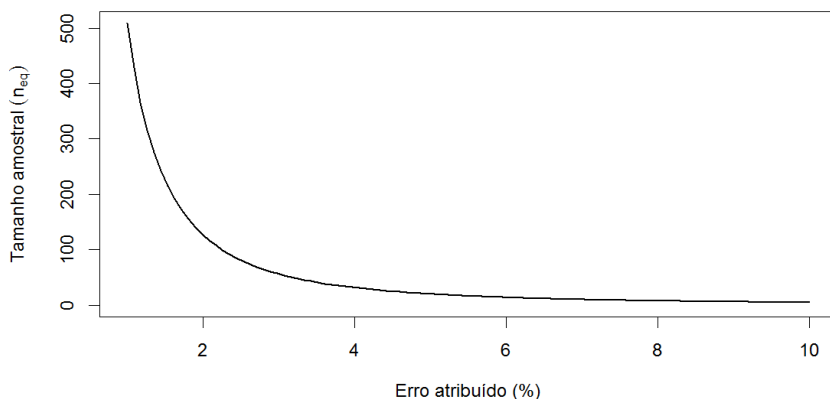
Modelo	Equação	R ²	n _{eq}
Linear	AFELS1 = -35,5306 + 7,7270C	0,9845	20
Linear	AFELS2 = -29,1017 + 19,0973L	0,9825	22
Linear	AFELS3 = 0,1467 + 0,7728CL	0,9986	02
Quadrático	AFEQ1 = -13,1496 + 2,7216C + 0,2601C ²	0,9879	16
Quadrático	AFEQ2 = -0,5804 + 1,0387L + 1,3562L ²	0,9900	13
Quadrático	AFEQ3 = -1,0695 + 0,8352CL - 0,0006CL ²	0,9987	02
Potência	AFEP1 = 0,3131C ^{2,0946}	0,9863	18
Potência	AFEP2 = 1,8453L ^{1,8886}	0,9900	13
Potência	AFEP3 = 0,7709CL ^{1,0016}	0,9986	02
Exponencial	AFEE1 = 3,7951e ^{0,2254C}	0,9696	46
Exponencial	AFEE2 = 4,5383e ^{1,5094L}	0,9806	28
Exponencial	AFEE3 = 10,9292e ^{0,0222CL}	0,9658	56

Fonte: Os autores

Considerando que a proposta de Schimdt *et al.* (2014b) é adaptada de Cochran (1977), baseada no intervalo de confiança para a média, no caso a média da AFO, o erro é

atribuição do pesquisador, de acordo com os interesses da pesquisa. Se o pesquisador atribuir um erro de 5 % em torno da média, o tamanho da amostra de 20 folhas é satisfatório. Se por outro lado o pesquisador quiser aumentar a precisão usando um erro de 2 % em torno da média de AFO, seriam necessários avaliação de 127 folhas, conforme pode ser visto na Figura 6, elaborada especificamente para as condições das folhas de araçá relatadas neste capítulo. Apesar da Figura 6 não ser de uso geral, o comportamento do tamanho da amostra em função do erro (modelo potência), se repete para qualquer espécie trabalhada.

Figura 6 - Tamanho amostral (n_{eq}) requerido para o exemplo de modelagem de área foliar de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) em função do erro atribuído.



Fonte: Os autores

Além da proposta de Schmildt *et al.* (2014b), o tamanho mínimo da amostra foi determinado por outros pesquisadores usando outros procedimentos. Shachet *et al.* (2015) em estudo de modelagem de área foliar de pessegueiro 'BRS Kampai' aplicou as equações obtidas às folhas da mesma variedade como copa em 20 diferentes genótipos e verificou que a repetibilidade foi muito baixa, concluindo que com uma acurácia de 90 % são necessárias no mínimo 57 folhas usando modelo linear simples com apenas uma medida da folha, o comprimento, e se a acurácia passar para 95 % são necessárias 120 folhas.

Na modelagem da área foliar de feijão de porco usando a largura do folíolo central para explicar a área foliar, Cargnelutti Filho *et al.* (2015) ajustaram a melhor equação a partir do modelo potência. Determinaram o tamanho da amostra para estimar os coeficientes da equação a partir de estudos de simulação com amostragem com 3000 reposições num processo iterativo e concluíram que para uma resposta com intervalo de confiança a 95 % são necessários no mínimo amostra de 200 folíolos.

Para determinar o tamanho mínimo de amostra para estimar área foliar em folhas de dente de leão, Shen *et al.* (2018) confrontaram valores de área foliar estimado pelo modelo selecionado com valores reais de uma nova amostra

da mesma espécie e começando com 10 grupos de 50 folhas verificaram se todas as equações se apresentaram significativas a 5 %. Caso positivo, o tamanho é adequado e reduziu-se o tamanho da amostra com os mesmos 10 grupos para novo teste, até tamanho cinco. Os autores concluíram que amostras para a modelagem da área foliar da espécie dente de leão deve ter no mínimo 10 folhas.

As análises estatísticas e o gráfico foram realizados usando os softwares Excel[®] (LEVINE *et al.*, 2017) e R (R CORE TEAM, 2022), respectivamente.

6.5 Recomendações

Com base no que foi exposto no referido capítulo, para estudo da modelagem da área foliar individual, recomenda-se:

a) Que a estimativa das equações de regressão e a validação sejam feitas a partir de amostra distintas de folhas de diferentes tamanhos retiradas de diferentes plantas e isentas de sintomas de incidência de pragas e doenças;

b) Que o a modelagem envolva equações de regressão lineares e não lineares a partir das dimensões de comprimento, maior largura e do produto das duas medidas do limbo foliar;

c) Que o tamanho da amostra para estimar as equações de regressão seja determinada por algum critério estatístico, como o sugerido por Schmildt *et al.* (2014b) e, em caso de impossibilidade, usar no mínimo 100 folhas;

d) Que o tamanho da amostra para a validação seja de no mínimo 20 folhas de diferentes tamanhos ou 10 % do tamanho da amostra usada para estimar as equações pelos diferentes modelos de regressão, o que der o maior valor;

e) Que se mencione o software usado para os cálculos.

REFERÊNCIAS

AGEHARA, S.; PRIDE, L.; GALLARDO, M.; HERNANDEZ-MONTERROZA, J. **A simple, inexpensive, and portable image-based technique for nondestructive leaf area measurements.** HS1395. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. 2020, 6p. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/hs1395>. Acesso em: 17 jan. 2022.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; ALVES, B.M.; NEU, I.M.M. Number of leaves needed to model leaf area in jack bean plants using leaf dimensions. **Bioscience Journal**, v.31, n.6, p.1651-1662, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n6a2015-26135>. Acesso em: 11 fev. 2020.

CASIERRA-POSADA, F.; ZAPATA-CASIERRA, V.; CUTLER, J. A comparison of direct and indirect methods for estimating leaf area in peach (*Prunus persica*) and plum (*Prunus salicina*) cultivars. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v.11, n.1, p.30-38, 2017. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/6143. Acesso em: 11 fev. 2020.

CHERNOVA, A.M. Non-destructive estimation of the leaf area in *Nuphar lutea* L. (Nymphaeaceae). **Modern Phytomorphology**, v.13, p.20–25, 2019. Disponível em: [10.5281/zenodo.20190105](https://zenodo.org/record/20190105). Acesso em: 17 jan. 2022.

COCHRAN, W.G. **Sampling techniques**. 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, 1977. 448p.

HOLGUÍN, V.A.; GRISALES, S.O.; DÍAZ, G.; MORA-DELGADO, J. Estimation of leaf area of *Tithonia diversifolia* using allometric equations, **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.22, p.231-238, 2019. Disponível em: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2794>. Acesso em: 17 jan. 2022.

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. Disponível em: 10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2545. Acesso em: 11 fev. 2020.

LEITE, M.L.M.V.; LUCENA, L.R.R.; CRUZ, M.G.; SÁ JÚNIOR, E.H.; SIMÕES, V.J.L. Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, n.1, p.e42808, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asas/a/Ytfn8QsSg6g8XhvyjY5vFzp/abstract/?lang=en>. Acesso em: 17 jan. 2022.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D.F.; SZABAT, K.A. **Statistics for managers using Microsoft® Excel**: global edition. 8th ed. London: Pearson, 2017. 728p.

LUCENA, R.R.M.; BATISTA, T.M.V.; DOMBROSKI, J.L.D.; LOPES, W.A.R.; RODRIGUES, G.S.O. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.2, p.40-45, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1728>. Acesso em: 11 fev. 2020.

MONTGOMERY, E.G. Correlation studies in corn. **Annual Report n. 24**, Agricultural Experimental Station, Lincoln, NB, p.108–159, 1911.

MORAES, L.; SANTOS, R.K.; WISSER, T.Z.; KRUPPEK, R.A. Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Biociências**, v.11, n.4, p.381-387, 2013. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2413>. Acesso em: 17 jan. 2022.

OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, K.T.H.; AMBRÓSIO, T.J.; SANTOS, J.S.H.; SANTANA, W.R.; MALIKOUSKI, R.G.; NASCIMENTO, A.L.; SANTOS, G.P.; SCHMILDT, O.; SCHMILDT, E.R. Mathematical modeling for leaf area estimation from papaya seedlings 'Golden THB'. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.5, p.496-505, 2019. Disponível em: [10.5539/jas.v11n5p496](https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p496). Acesso em: 17 jan. 2022.

PERMANHANI, M.; VASCONCELLOS, M.A.S.; SOUZA, R.T.; MARTELLETO, L.A.P. Estimativa de área foliar da videira 'Niagara Rosada' conduzida em sistema de latada, região norte fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.36, n.4, p.1034-1040, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/hgxQCmR66XPf5krftx4pTbG/?lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2020.

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.F.; AZEREDO, 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. Disponível em: [10.5539/jas.v11n9p299](https://doi.org/10.5539/jas.v11n9p299). Acesso em: 04 abr. 2023.

POMPELLI, M.F.; SANTOS, J.N.B.; SANTOS, M.A. Estimating leaf area of *Jatropha nana* through non-destructive allometric models. **AIMS Environmental Science**, v.6, n.2, p.59–76, 2019. Disponível em: [10.3934/environsci.2019.2.59](https://doi.org/10.3934/environsci.2019.2.59). Acesso em: 17 jan. 2022.

POSTA, D.S.; SALA, F. Leaf area and its relationship with leaf descriptors elements in *Liquidambar styraciflua* L. **Bulletin UASVM Horticulture**, v.75, n.1, p.62-67, 2018. Disponível em: <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/horticulture/article/viewFile/12961/10591>. Acesso em: 17 jan. 2022.

QUEIROGA, J.L.; ROMANO, E.D.U.; SOUZA, J.R.P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.64-68, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/6cMGHk6MrFJyStzhDvbWrhC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2020.

R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 4 de janeiro de 2023.

RIBEIRO, J.E.S.; COÊLHO, E.S.; FIGUEIREDO, F.R.A.; LOPES, S.F.; ALBUQUERQUE, M.B. Estimation of leaf area of *Erythroxylum citrifolium* from linear leaf dimensions. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 6, p. 1923-1931, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-41743>. Acesso em: 17 jan. 2022.

RIBEIRO, J.E.S.; FIGUEIREDO, F.R.A.; COÊLHO, E.S.; PEREIRA, W.E.; ALBUQUERQUE, M.B. A non-destructive method for estimating leaf area of *Ceiba glaziovii* (Kuntze) K. Schum. **Floresta**, Curitiba, PR, v.50, n.1, p.1063-1070, 2020. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/61088>. Acesso em: 04 abr. 2023.

SACHET, M.R.; PENSO, G.A.; PERTILLE, R.H.; GUERREZI, M.T.; CITADIN, I. Estimativa da área foliar de pessegueiro por método não-destrutivo. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2161-2163, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/ij/cr/a/yrr8gZZGYtJLXnvChhTqMdh/?lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SANTOS, G.P.; OLIVEIRA, V.S.; SCHMILDT, O.; SOUZA, J.M.; SANTOS, K.T.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.09, n.10, p.30851-30855, 2019. Disponível em: <https://1library.net/document/yd21epeq-modelagem-area-foliar-cafeeiro-conilon-diferentes-recipientes-cultivo.html>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C.T.; HINER, M.C.; ELICEIRI, K.W. The ImageJ eco system: an open platform for biomedical image analysis. **Molecular Reproduction and Development**, v.82, p.518–529, 2015. Disponível em: 10.1002/mrd.22489. Acesso em: 11 fev. 2020.

SCHMILDT, E. R.; AMARAL, J. A. T.; SCHMILDT, O.; SANTOS, J. S. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. **Coffee Science**, v.9, n.2, p.155-167, 2014a. Disponível em: https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/573/pdf_81. Acesso em: 11 fev. 2020.

SCHMILDT, E. R.; HUESO, J. J.; CUEVAS, J. Allometric models for determining leaf area of vine ‘Sugraone’. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 29, n.10, p. 61-81, 2014b. Disponível

em: <http://ciencia-e-tecnica.org/view.php?v=29&i=10>. Acesso em: 11 fev. 2020.

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, 2016b. Disponível em: 10.14295/cs.v7i3.1095. Acesso em: 11 fev. 2020.

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 greenhouse and in the open field. **Fruits**, v.72, n.1, p.24-30, 2017. Disponível em: 10.17660/th2017/72.1.2. Acesso em: 11 fev. 2020.

SCHMILDT, E.R.; NEGRIS, F.S.; CESANA JÚNIOR, E.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R.S. Equações para estimar área foliar de maracujá amarelo. **Nucleus**, v.13, n.1, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1461>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SCHMILDT, E.R.; AMARAL, J.A.T.; SANTOS, J.S.; SCHMILDT, O. Allometric model for estimating leaf área in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.4, p.740-748, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150061> Acesso em: 11 fev. 2020.

SHEN, G.; WANG, W.; CHEN, F.; ZHENG, F.; WEI, D.; LI, L.; ZENG, X.; FAN, Y.; KON'KOVA, N.G. Nondestructive leaf area and fresh weight estimation for *Taraxacum kok-saghyz* Rodin and their sampling number. **Agricultural Biology**, v. 53, n. 3, p. 645-654, 2018. Disponível em: 10.15389/agrobiology.2018.3.645eng. Acesso em: 17 jan. 2022.

SHI, P.; LIU, M.; RATKOWSKY, D.A.; GIELIS, J.; SU, J.; YU, X.; WANG, P.; ZHANG, L.; LIN, Z.; SCHRADER, J. Leaf area-length allometry and its implications in leaf shape evolution. **Trees**, v.33, p.1073–1085, 2019a. Disponível em: [10.1007/s00468-019-01843-4](https://doi.org/10.1007/s00468-019-01843-4). Acesso em: 17 jan. 2022.

SHI, P.; LIU, M.; YU, X.; GIELIS, J.; RATKOWSKY, D.A. Proportional relationship between leaf area and the product of leaf length and width of four types of special leaf shapes. **Forests**, v.10, n.2, p. e178, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10020178>. Acesso em: 17 jan. 2022.

TEOBALDELLI, M.; ROUPHAEL, Y.; FASCELLA, G.; CRISTOFORI, V.; RIVERA, C.M.; BASILE, B. Developing an accurate and fast non-destructive single leaf area model for loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cultivars. **Plants**, v.8, n.7, p. e230, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8070230>. Acesso em: 17 jan. 2022.

Agência Brasileira ISBN
ISBN: 978-65-6016-001-9

Com o livro “Modelagem da área foliar individual” se pretende trazer resposta a algumas indagações sobre estimativa da área foliar de forma não destrutiva. Pode se tornar um bom companheiro para fisiologistas, melhoristas, biólogos, agrônomos e outros profissionais que precisam da área foliar nos seus trabalhos científicos.

É escrito em seis capítulos sequenciais abordando desde a importância da área foliar, passando pelos recursos de se medir a área foliar e terminando com a parte estatística na abordagem da implementação usando o ambiente R, a validação e a importância do tamanho da amostra.

Os autores agradecem a todos os que, mesmo não sendo autores neste livro, de alguma forma contribuíram para que ele se tornasse uma realidade.



**Brazilian Journals Publicações
de Periódicos e Editora**

ISBN: 978-65-6016-001-9