

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO ARAGÃO TELMO DE CARVALHO

A ARQUITETURA MECÂNICA DE *Orthosia urceolata* E. Fourn. (APOCYNACEAE)

CURITIBA

2023

EDUARDO ARAGÃO TELMO DE CARVALHO

A ARQUITETURA MECÂNICA DE *Orthosia urceolata* E. Fourn. (APOCYNACEAE)

Monografia para obtenção do título de Bacharel
em Ciências Biológicas, apresentada ao
Departamento de Botânica, Setor de Ciências
Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Soffiatti.



CURITIBA

2023

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4 - 6
2. OBJETIVOS.....	6-7
2.1 Objetivos gerais.....	6
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7-11
3.1 Coleta das amostras.....	7
3.2 Ensaios biomecânicos	7-9
3.3 Estudos anatômicos.....	9-10
3.4 Análise dos resultados.....	10-11
4. RESULTADOS	11-15
4.1 Descrição morfológica.....	11
4.2 Descrição anatômica.....	11-12
4.3 Biomecânica e dados morfométricos.....	14-15
5. DISCUSSÃO.....	16-18
5.1 Anatomia.....	16-17
5.2 Biomecânica.....	17-18
6. CONCLUSÃO.....	18
7. REFERÊNCIAS	19 - 21

1. Introdução

A palavra “liana” vem da palavra francesa “*liane*” (FIGUEIREDO, 1913), que por sua vez vem do verbo “*liener*”, que significa “amarrar/ligar feixes” (REY, 2010). Esse nome foi originalmente dado genericamente à várias plantas distintas com hábito trepador, pelo naturalista francês Charles Plumier durante suas visitas à América Central, em referência ao seu uso pelos mesoameríndios como cordas (PLUMIER, 1693). As trepadeiras chamaram a atenção de Darwin, que escreveu em 1882 um trabalho a respeito dos movimentos executados por essas espécies (GEROLAMO, 2016). Ele também, em 1867, criou um sistema de classificação para essas plantas, agrupando-as em quatro grandes categorias, de acordo com o tipo de adaptação ao hábito trepador que elas apresentavam (tricomas, gavinhas, ganchos, etc) (VILLAGRA, 2008).

A história da origem do nome já fornece algumas pistas interessantes sobre as lianas: primeiro, o fato de ser um nome genérico dado a diversas plantas, configurando um grupo parafilético. O hábito lianescente ou trepador surgiu independentemente em várias linhagens de eudicotiledôneas (SPECK & BURGERT, 2011). Segundo, a flexibilidade e resistência a injúrias, típica dos caules de lianas e trepadeiras (ROWE, 2018), que permite com que essas espécies cresçam de forma marcante nos ecossistemas, especialmente nos trópicos. Lianas são trepadeiras que apresentam crescimento secundário pronunciado, conhecidas como trepadeiras lenhosas.

Espécies trepadeiras iniciam sua vida no solo, mas perdem sua capacidade de se auto sustentar, e por isso dependem do apoio de estruturas externas, como árvores e arbustos, para atingir o dossel. Outra característica importante destas plantas é que elas se mantêm enraizadas no solo durante toda a sua vida (GERWING *et al*, 2006). Essas espécies são consideradas parasitas estruturais por alguns autores, por não serem capazes de se sustentarem sozinhas, e dependerem do apoio geralmente de árvores, o que pode, inclusive, aumentar a mortalidade destas (SCHNITZER & BONGERS, 2002; PUTZ & CHAI, 1987). Algumas usam de artifícios como gavinhas, ganchos e raízes adventícias para facilitar a sua ancoragem aos troncos das espécies suporte (PUTZ & MOONEY, 1991; ANGIALOSSY *et al*, 2015).

A anatomia das trepadeiras é profundamente marcada por suas estratégias ecológicas. Como se valem do apoio estrutural fornecido externamente por árvores (ou outro suporte), estas plantas não precisam investir muitos recursos em tecidos de suporte. Assim, seu maior investimento volta-se para o seu rápido crescimento. Para isso, precisam de vasos com diâmetros maiores, que garantem uma maior condutividade hidráulica

(ANGYALOSSY *et al*, 2015). As trepadeiras são caracterizadas por possuírem alguns vasos no xilema com diâmetro bastante aumentado, às vezes até mesmo visíveis à olho nu, se comparados a espécies arbóreas ou arbustivas. As células condutoras do floema de espécies de trepadeiras também chamam a atenção por seu tamanho maior (ANGYALOSSY *et al*, 2015). Vasos com diâmetros maiores são, teoricamente, mais eficientes em conduzir um maior volume d'água. Porém, eles estão mais sujeitos a cavitação. Isso forma um paradoxo entre a segurança e a eficiência na condutividade hidráulica, o que estas plantas tentam balancear com o dimorfismo de vasos, ou seja, a ocorrência de vasos de grande e pequeno calibre (APGAUA *et al*, 2017; ANGYALOSSY *et al*, 2015). A combinação de tecidos rígidos (xilema e fibras) com tecidos mais macios (parênquima e floema) são características que conferem flexibilidade e uma grande capacidade de reparo a injúrias nessas plantas (ANGYALOSSY *et al*, 2011, ANGYALOSSY *et al*, 2015).

Outra característica muito observada em trepadeiras e lianas é uma grande diversidade de tipos de variação cambial. A variação cambial, ou crescimento secundário anômalo, é uma forma de crescimento secundário alternativo ao padrão mais encontrado nas plantas, com o câmbio vascular único e cilíndrico formando xilema secundário para dentro e floema secundário para fora (CARLQUIST, 2013; ANGYALOSSY *et al*, 2015). Esse desvio da condição mais comum observada em espécies arbustivas e arbóreas, pode estar relacionado tanto ao sentido no qual o câmbio origina o xilema e o floema secundários (alternadamente, em cunhas), quanto ao número de câmbios (câmbios sucessivos, acessórios), e à forma que o câmbio adquire com o desenvolvimento. Essa diversidade gera combinações variadas de xilema e floema no sistema vascular dessas espécies, contribuindo para sua alta ocupação dos espaços nos ecossistemas, e um grande sucesso ecológico. (CARLQUIST, 2013; ANGYALOSSY *et al*, 2015).

Ao contrário das porções mais antigas do caule das trepadeiras, os ramos mais jovens, especialmente sua porção mais apical, são mais rígidos e menos flexíveis que o resto da planta (ROWE & SPECK 2005). Esses ramos precisam se sustentar enquanto fazem movimentos para encontrar um lugar para se apoiar, e continuar o desenvolvimento do ramo. Por esse motivo, esses ramos recebem o nome de buscadores, ou “*searchers*” (HATTERMAN *et al*. 2022). A anatomia desses ramos costuma mostrar um xilema secundário mais denso e com vasos menores, além de fibras com paredes mais espessas (LETCHER & CHAZDON, 2009).

O gênero *Orthosia*, foco desse estudo, pertence à família Apocynaceae, à tribo Asclepidae, e subtribo Orthosiinae. Previamente, havia outra família, denominada

Asclepiadaceae, à qual o gênero *Orthosia* pertencia, porém, essa família foi incorporada à Apocynaceae no sistema APG (1998), como a subfamília Asclepidoideae, que atualmente abriga 164 gêneros (ENDRESS *et al.*, 2014). As Apocynaceae têm diversos hábitos: árvores, ervas e lianas, sendo que várias espécies da família são lianas. Uma sinapomorfia de Apocynaceae é seu látex de aspecto leitoso. Outra sinapomorfia, e também característica exclusiva da família, mais especificamente da subfamília Asclepiadoideae, é o chamado ginostésio, onde os estames modificados e o estigma se fundem em uma estrutura complexa (MENDES & CHAVES, 2015).

Orthosia urceolata é uma espécie muito comum nas florestas ombrófilas das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Sendo um grupo de plantas tão importante nos ecossistemas florestais tropicais, é relevante conhecer melhor os processos de crescimento e desenvolvimento de espécies de trepadeiras, que podem ser associados à incrível capacidade destas plantas de ocupação dos espaços, sendo a arquitetura mecânica um ponto crucial neste contexto. Além disso, estudos anatômicos e biomecânicos de plantas, especialmente de lianas e trepadeiras, vêm ganhando cada vez mais atenção, por terem várias aplicações em soluções tecnológicas bioinspiradas, como no campo da robótica leve. Isso porque a estrutura modular do corpo das plantas, bem como as diversas adaptações morfo-anatômicas e estruturais a diversos tipos de desafios ambientais oferecem grande potencial para a biomimética. As lianas, e trepadeiras de modo geral, podem ser muito úteis para oferecer soluções para robôs escaladores, especialmente considerando suas adaptações relacionadas à flexibilidade e resistência do caule, bem como sua capacidade de mudar a rigidez de um ramo ao longo de seu desenvolvimento consoante à necessidade da planta (SOFFIATTI & ROWE, 2020; SOFFIATTI *et al.*, 2022).

2. Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Determinar arquitetura mecânica de *Orthosia urceolata* E. Fourn., ou seja, determinar as propriedades mecânicas ao longo dos vários estágios de desenvolvimento do ramo buscador (base, meio e ápice), e a correlação destes parâmetros com a organização dos tecidos em cada estágio, dos ramos buscadores.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar como as propriedades mecânicas variam ao longo dos estágios de desenvolvimento dos ramos buscadores;
- Investigar como ocorre o desenvolvimento dos tecidos ao longo das fases de desenvolvimento dos ramos buscadores;
- Correlacionar o segundo momento de área às porcentagens dos tecidos em cada estágio de desenvolvimento, para detectar quais tecidos influenciam no suporte mecânico dos ramos.

3. Materiais e Métodos

3.1 Coleta das amostras

Os exemplares foram coletados no capão do tigre, no campus do Jardim Botânico da UFPR, em Curitiba. Foram coletados 10 ramos buscadores em vários indivíduos de *Orthosia urceolata*. Os ramos coletados ainda não estavam ancorados em nenhum suporte, sendo auto-suportantes. As amostras foram mantidas em sacos plásticos úmidos, para evitar a dessecação, e levados imediatamente ao Laboratório de Anatomia e Biomecânica Vegetal da UFPR, para a realização dos testes biomecânicos ainda em condições frescas.

3.2 Ensaio Biomecânicos

Para os ensaios, os exemplares foram divididos em meio, ápice e base, e os comprimentos total, e de cada seguimento, e os diâmetros foram mensurados em cada uma destas porções. Cada uma dessas partes foi submetida ao teste de flexão em 4 pontos (ROWE & SPECK, 1996). As amostras foram apoiadas entre duas bases metálicas, e em intervalos de 30 segundos, foram adicionados pesos de metal a um balancim apoiado na parte central da amostra, conforme ilustrado na figura 1. Para os testes, foram adicionados pesos (de 0,1 a 5 g cada peso) no balancim, e a deflexão gerada na amostra foi medida com auxílio de um estereomicroscópio com mini-régua acoplada. Além disso, o diâmetro de cada porção testada foi medido, com auxílio de paquímetro eletrônico, em dois pontos a 180 graus um do outro, na mesma porção. Os pesos adicionados às amostras foram transformados de gramas para Newton, fazendo-se assim um gráfico de dispersão com a

força exercida pelo peso na amostra, em Newtons, e a deflexão observada na amostra, em mm. Três parâmetros mecânicos são obtidos a partir dos testes de flexão e das medidas de diâmetro dos ramos: a rigidez à flexão (EI), o segundo momento de área (I) e o módulo de Young (E). A partir do gráfico de força x deflexão, obteve-se o coeficiente da reta (b), que foi utilizado para calcular a rigidez à flexão:

- Rigidez à flexão, ou “*flexural stiffness*”, em Nmm^2 ;

$$EI = b \times \frac{L^3}{48} \times \left(3 \times \frac{a}{L} \right) - 4 \times \left(\frac{a}{L} \right)^3$$

Onde:

- EI : rigidez à flexão (*flexural stiffness*), em N.mm^2 ;
- $a = \frac{L-l}{2}$;
- l : distância entre os dois suportes do balancim, em mm;
- L : distância entre os dois suportes externos, em mm;
- b : inclinação da curva da força de deflexão.

Neste estudo consideramos que o caule da espécie estudada tem forma aproximadamente elíptica, em secção transversal. Deste modo, para o cálculo do segundo momento de área (mm^4), utilizou-se os diâmetros obtidos nas duas regiões do mesmo ponto, aplicando-se a fórmula da elipse, como segue:

$$I = \frac{h \times v^3}{4}$$

Onde:

- I : Segundo momento de área, em mm^4 ;
- h : raio do eixo horizontal da elipse, em mm;
- v : raio do eixo vertical da elipse, em mm.

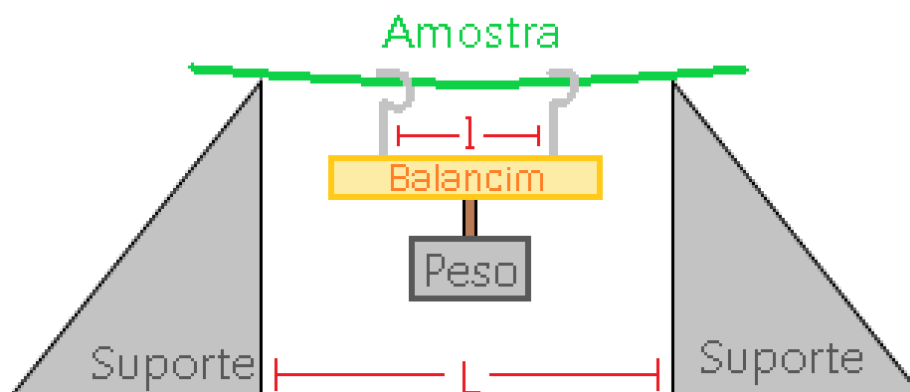
O módulo de Young (E , MNmm^{-2}), foi obtido a partir da fórmula:

$$E = \frac{EI}{I}$$

Onde:

- E: módulo de Young, em MN/m²;
- EI: rigidez à flexão, em Nmm²;
- I: segundo momento de área, em mm⁴.

Figura 1: Esquema representando o teste de 4 pontos. Em vermelho, I (a distância entre os dois suportes do balancim) e L (a distância entre os dois suportes metálicos).



(Fonte: O Autor)

3.3 Estudos anatômicos

Após os ensaios biomecânicos, a porção mediana das amostras testadas foram conservadas em álcool 70%. Para melhor infiltração, as amostras em álcool 70% foram submetidas a bomba de vácuo, por 24h. Em seguida, as amostras foram incluídas em solução de Polietilenoglicol 1500 (PEG 1500) e álcool 70% (1:1). Após serem mantidos em vácuo por 24h em bomba de vácuo, os recipientes com as amostras foram transferidos para estufa a 60°C, onde permaneceram por mais 24h, a fim de promover a evaporação da porção alcóolica da solução. Por fim, foram transferidas para PEG 1500 puro, sendo mantidas por 24h em estufa a 60°C. Após essas etapas, essas amostras foram emblocadas em PEG 1500 puro, utilizando formas de silicone. Secções transversais foram feitas com auxílio de micrótomo rotatório (Leica RM 2125 RT), com cortes de espessura entre 40-60µm, a variar de acordo com o melhor resultado para cada amostra. Os cortes foram então corados com safrablau (safranina + azul de astra) (KRAUS & ARDUIN, 1997) por 8 minutos. Montou-se os cortes em lâminas semipermanentes com gelatina glicerizada (KRAUS & ARDUIN, 1997), utilizadas nas descrições anatômicas, e que posteriormente foram fotografados em microscópio BX51 (Olympus ®) no Centro de Tecnologias Avançadas em Fluorescência da UFPR.

3.4 Análise dos resultados

A partir dos registros fotográficos das secções anatômicas, utilizou-se o software de ilustração *Krita* (v.5.0.6, Krita Foundation, 2022) para converter as fotos em ilustrações, demarcando com cores contrastantes os seguintes tecidos, de dentro para fora: a medula, o xilema secundário, o xilema lianóide (quando presente), calotas de fibras e o córtex, conforme exemplificado na figura 2. Esses são os tecidos mais relevantes que influenciam nas propriedades mecânicas dos caules. O xilema lianóide é assim denominado pois é o xilema que comumente é formado nos caules de lianas e trepadeiras, onde os vasos apresentam um diâmetro claramente maior dos que vasos do xilema secundário formado inicialmente (SOFFIATTI *et al*, 2022).

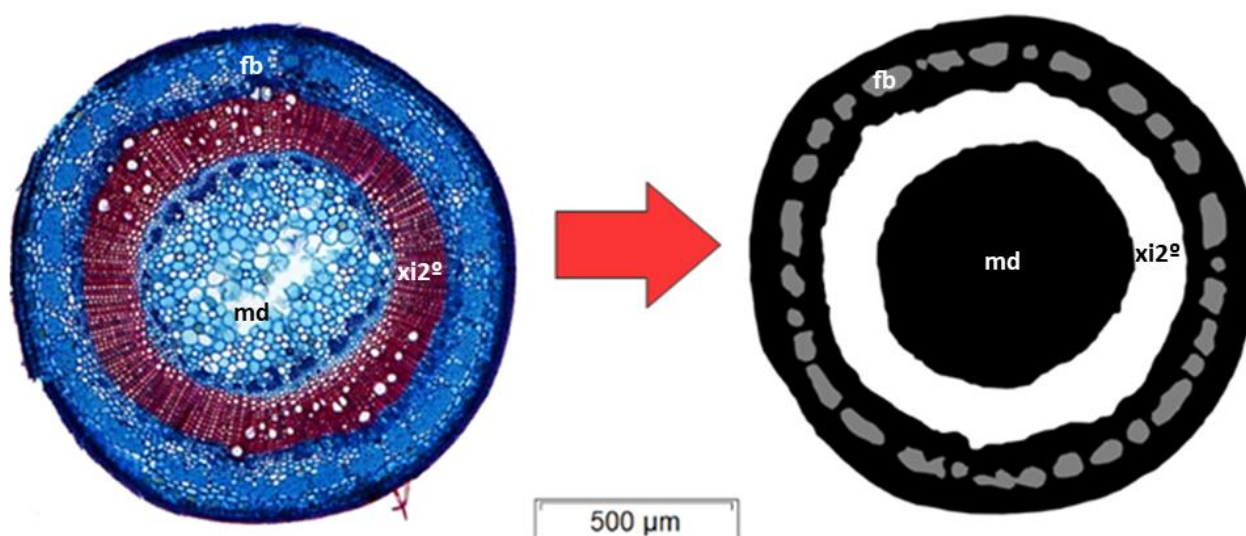
Posteriormente, as ilustrações foram analisadas com o software de análise de imagens *Optimas* (v.6.5.172, Media Cybernetics, Inc., Rockville, MD, USA) para medir, em cada amostra, os seguintes parâmetros:

- A área de cada um dos tecidos mencionados acima;
- O segundo momento de área para cada um dos tecidos mencionados acima.

Com essas medidas, calculou-se a proporção de cada tecido em relação à área total do corte transversal do caule (em porcentagem), bem como a contribuição de cada tecido para o segundo momento de área total da amostra (também em porcentagem).

Os testes estatísticos foram realizados no software *BioEstat* (v.5.0, Belém, Pará, Brasil: AYRES *et al*, 2007). Os dados também foram submetidos ao teste não-paramétrico Kruskal-Wallis seguindo do post hoc de Mann-Whitney ($p < 0,05$), com auxílio do software *PAST* (v.4.03, Palaentologia Electronica, 2020), para determinar as diferenças estatisticamente significativas entre os valores encontrados para a base, o meio e o ápice das amostras.

Figura 2: exemplo de como os cortes foram convertidos em ilustração, para facilitar a análise pelo Optimas. No exemplo, os tecidos evidenciados por cores de alto contraste são: medula, xilema, córtex e calotas de fibras. Abreviações: fb – calotas de fibra; xi2º - xilema secundário; md – medula.



(Fonte: O Autor)

4. Resultados

4.1 Descrição morfológica

O. urceolata é uma trepadeira herbácea, caracterizada por folhas simples, opostas, com comprimento de 2 a 3 cm, glabras, de face adaxial esverdeada, e com a face abaxial em um tom mais claro que a outra face. A forma geral da folha é lanceolada, com ápice agudo, margem inteira e base de aguda a arredondada, uninérvia. O caule é esverdeado, e, nos ramos jovens, se destaca por seu diâmetro diminuto, entre 0,79 e 1,20 mm. O caule é coberto por tricomas, e não apresenta gavinhas, sendo volúvel (Fig.3 A-C). O caule apresenta látex de aspecto leitoso. A planta não possui odor característico.

4.2 Descrição anatômica

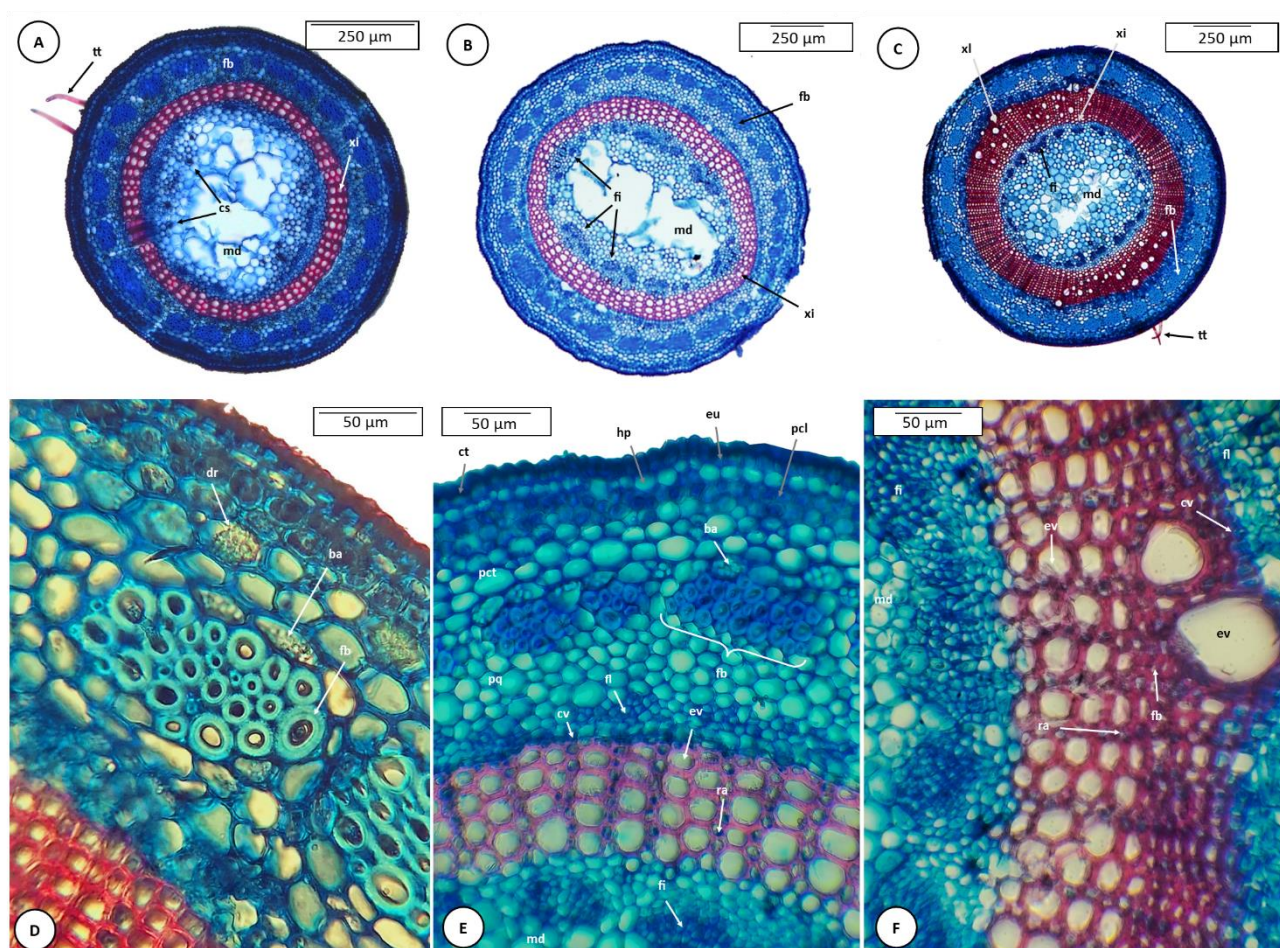
O caule de *O. urceolata* possui epiderme uniestratificada, com células com paredes primárias, coberta por cutícula relativamente espessa (Fig.4 E), e ocorrência de tricomas tectores (Fig.4 A e C). Abaixo desta, ocorre uma hipoderme uniestratificada, composta por células de paredes primárias e nenhum conteúdo visível, seguida de tecido parenquimático formado por células isodiamétricas com paredes primárias, onde as duas primeiras camadas de células apresentam cloroplastos, e as camadas abaixo desta, drusas. Há uma bainha amilífera contínua ao redor do cilindro vascular. (Fig.4 E e F). Internamente à bainha amilífera, ocorrem calotas de fibras, com a presença de pontoações (Fig.4 A-C, E e F). Abaixo dessa bainha, há 2-4 camadas de células

parenquimáticas (Fig.4 A). Logo após, há o floema, composto por células companheiras e elementos de tubo crivado, somando 3-4 camadas de células de parede primária, e de tamanho reduzido em comparação às células parenquimáticas adjacentes. Entre o floema e o xilema, é possível delimitar o câmbio vascular uniestratificado (Fig.4 D e E). O xilema secundário da espécie apresenta variação conforme a idade, no número de camadas de células que o compõe, e na presença de xilema lianóide em secções mais maduras do caule (Fig.4 A-C). O xilema secundário formado inicialmente é constituído por camadas de elementos de vaso de pequeno calibre e raios parenquimáticos unisseriados (Fig.4 D e E). O xilema lianóide surge em estágios posteriores, e está composto por elementos de vaso de maior calibre, fibras e raios parenquimáticos (Fig.4 E). A espécie possui floema interno (ou intraxilemático) (Fig.4 C, D e E). Por fim, na região mais interna, há a medula, composta por células parenquimáticas de diâmetros variáveis (Fig.4 A-C e D). Algumas células secretoras foram observadas na medula (Fig.4 A). A principal variação anatômica observada desde o ápice até a base se refere ao aumento no diâmetro dos ramos (Tab. 1), e ao incremento na quantidade de xilema secundário, culminando com o aparecimento do xilema lianóide na porção basal em alguns indivíduos (Fig.4 E).

Figura 3: Fotos de *Orthosia urceolata* em campo. Ramo encostado em galho de árvore (A), detalhe da porção apical do caule (B), ramo buscador autossustentado (C). (Fonte: O Autor)



Figura 4: secções transversais de *Orthosia urceolata* coradas com safrablau, vistas em microscópio. Ápice (A), meio (B), base (C): note o aumento da quantidade de xilema secundário, que na região apical apresenta-se com 3-4 camadas (A), que progressivamente tornam-se mais numerosas na região mediana (B) e culmina com o aparecimento do xilema lianóide nas regiões basais (C). (D). Detalhe do caule mostrando todos os tecidos. (E). Epiderme, região cortical e calotas de fibras em maior detalhe, em secção de estágio junvenil, sem formação de xilema lianóide. (F) Detalhe do xilema lianóide formado em estágios posteriores do desenvolvimento. Abreviações: tt – tricoma tector; ct – cutícula; eu – epiderme uniestratificada; hp – hipoderme; pcl – parênquima clorofiliano; dr – drusa; pct – parênquima cortical; ba – bainha amilífera; fb – fibras; pq – parênquima; fl – floema; cv – câmbio vascular; xl – xilema lianóide; ev – elementos de vaso; ra – raio; fi – floema intraxilemático; cs – célula secretora; md – medula.



(Fonte: O Autor)

4.3 Biomecânica e dados morfométricos

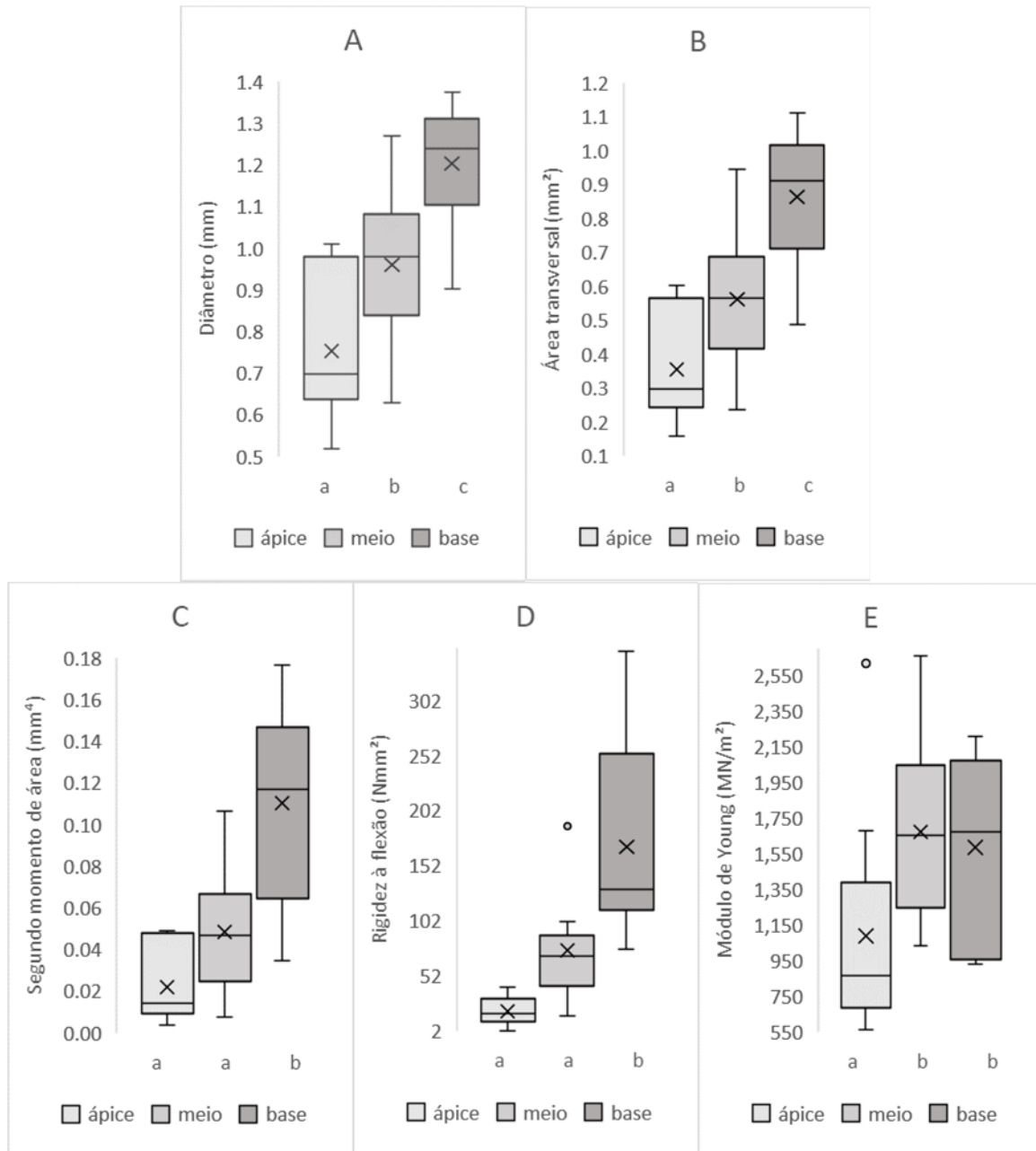
Os resultados das análises biomecânicas, diâmetro dos caules, porcentagem de tecidos e de contribuição ao segundo momento de área (I), com respectivas análises estatísticas, são apresentados na Tabela 1 e Figura 6.

Tabela 1: Variáveis quantitativas (biomecânicas, morfológicas e anatômicas) para a espécie *Orthosia urceolata*. Média aritmética (em negrito), seguida pelo desvio padrão e valores mínimo-máximo (entre parênteses) para as regiões basal, mediana e apical. Em uma mesma coluna, as médias seguidas da mesma letra não apresentaram diferença significativa no teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (seguido de post-hoc Mann-Whitney; $p < 0,05$). $n=10$.

Porção	Diâmetro (mm)	Área transversal (mm ²)	2º momento de área (mm ⁴)	Rigidez à flexão (Nmm ²)	Módulo de Young (MN/m ²)
Ápice	0.75 a ±0.18 (0.52 - 1.01)	0.35 a ±0.16 (0.16 - 0.60)	0.02 a ±0.02 (0.01 - 0.05)	20.06 a ±13.59 (2.01 - 42.08)	1090.14 a ±635.75 (560.88 - 2617.14)
Meio	0.96 b ±0.18 (0.63 - 1.27)	0.56 b ±0.20 (0.23 - 0.94)	0.05 a ±0.03 (0.01 - 0.11)	75.31 b ±46.59 (15.525 - 188.025)	1672.95 b ±508.51 (1034.732 - 2650.060)
Base	1.20 c ±0.14 (0.903 - 1.373)	0.86 c ±0.19 (0.486 - 1.112)	0.11 b ±0.05 (0.06 - 0.18)	168.82 c ±91.75 (76.33 - 346.13)	1586.26 b ±538.20 (929.57 - 2210.27)
Porção	Área do cortex (%)	Área do xilema lianóide (%)	Área do xilema (%)	Área da medula (%)	Área fibras (%)
Ápice	49.00% a ±3.58% (44.1 - 55.8%)	0.00% a ±0.00% (0 - 0%)	14.61% a ±2.39% (9.3 - 17.2%)	31.61% a ±3.26% (26.7 - 37.3%)	4.78% a ±4.18% (0 - 10.8%)
Meio	47.83% ab ±3.99% (39.9 - 53%)	0.00% a ±0.00% (0 - 0%)	15.73% a ±3.46% (10.5 - 21.5%)	28.90% a ±4.14% (22.5 - 35.7%)	7.51% a ±1.78% (3.8 - 9.8%)
Base	45.02% b ±4.94% (37.4 - 55.8%)	4.99% a ±8.10% (0 - 18.6%)	18.49% a ±7.04% (6.9 - 25.8%)	24.20% b ±5.17% (16.6 - 35.5%)	7.29% a ±3.48% (0 - 12%)
Porção	Segundo momento de área cortex (%)	Segundo momento de área xilema lianóide (%)	Segundo momento de área xilema (%)	Segundo momento de área medula (%)	Segundo momento de área fibras (%)
Ápice	72.18% a ±4.08% (65.7 - 77.6%)	0.00% a ±0.00% (0 - 0%)	11.46% a ±2.51% (6.3 - 14.8%)	10.25% a ±2.13% (7.2 - 14.1%)	6.10% a ±5.35% (0 - 13.9%)
Meio	69.76% ab ±4.48% (61.4 - 76.2%)	0.00% a ±0.00% (0 - 0%)	11.52% a ±2.34% (8 - 15%)	8.69% a ±2.44% (5.1 - 12.9%)	10.02% a ±2.59% (4.7 - 13%)
Base	66.91% b ±5.90% (57.2 - 79.9%)	3.96% a ±6.52% (0 - 16.4%)	12.86% a ±5.71% (3.7 - 19.3%)	6.24% b ±2.72% (2.8 - 12.7%)	10.05% a ±4.80% (0 - 17%)

(Fonte: O Autor)

Figura 5: Boxplots das variáveis analisadas (A. Diâmetro transversal, B. Área transversal, C. Segundo momento de área, D. Rigidez à flexão e E. Módulo de Young), para as regiões basal, mediana e apical dos ramos buscadores de *Orthosia urceolata*. A linha dentro das caixas representa a mediana; o X representa a média; parte superior e inferior das caixas representam, respectivamente, os 1º e 3º quartis; os limites superior e inferior estão representados pelas linhas verticais; pontos acima ou abaixo representam valores discrepantes (*outliers*). As letras minúsculas representam as diferenças significativas entre os valores da mediana, entre as porções basal, mediana e apical (Kruskal Wallis e post hoc Mann-Whitney $p < 0,05$).



(Fonte: O Autor)

5. Discussão

5.1 Anatomia

Nas secções transversais de *O. urceolata*, foi possível observar uma organização típica de caules de espécies herbáceas, especialmente quanto aos tecidos de revestimento e corticais.

Há ocorrência de drusas no parênquima cortical. METCALFE & CHALK (1950) descrevem que cristais de oxalato de cálcio são comuns em tecidos não lignificados nos caules de Apocynaceae, o que se confirma com as observações feitas. Entre as células parenquimáticas do córtex e as fibras não lignificadas, ocorre uma bainha amilífera contínua, com suas células contendo grãos de amido visíveis. APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO (2006) mencionam que essas células representam a endoderme, comumente observada em caules em geral.

Fibras foram observadas organizadas em uma bainha descontínua, em calotas, nem sempre lignificadas. METCALFE & CHALK (1950) mencionam que fibras não lignificadas, às vezes mucilaginosas, ocorrem quase invariavelmente no periciclo do caule em espécies de Apocynaceae, o que condiz com o observado, já que as fibras observadas eram internas à bainha amilífera, ocupando a região pericíclica. LARROSA & DUARTE (2006) também observaram em *Forsteronia glabrescens* (Apocynaceae), a ocorrência de uma camada descontínua de fibras não lignificadas muito similares às observadas aqui. Outra característica anatômica típica de Apocynaceae é a ocorrência de floema intraxilemático (METCALFE & CHALK, 1950; APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006), o que também foi observado.

A presença de laticíferos é outra característica universal na anatomia de Apocynaceae (METCALFE & CHALK, 1950; APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Látex de aspecto leitoso foi observado durante a coleta dos ramos. Além disso, células secretoras foram observadas principalmente na medula de algumas secções, e provavelmente essas células tratam-se de laticíferos, requerendo mais investigações para confirmação. FIGUEIREDO (2011) descreveu a medula de *O. urceolata* como fistulosa, o que foi observado em algumas secções obtidas aqui, onde se observa a região central da medula vazia, e as células ao redor colapsadas.

O xilema lianóide, observado na porção basal de alguns indivíduos, é uma característica marcante de trepadeiras e lianas (ANGYALOSSY *et al.* 2015; SOFFIATTI

et al. 2022). As espécies de trepadeiras comumente apresentam o xilema secundário mais antigo com vasos de menor calibre, e à medida que vão se desenvolvendo e crescendo sobre suportes, este outro xilema é formado, onde surgem vasos de calibre muito maior. Na fase inicial do desenvolvimento, os ramos buscadores se sustentam sozinhos, não tendo ainda apoio externo, e isso pode ser relacionado à ocorrência de um xilema mais denso (HATTERMAN *et al.* 2022). Ao encontrar apoio, a anatomia muda, pois não há mais a necessidade de auto-sustentação, e deste modo, a espécie pode investir mais em tecidos condutores, otimizando o crescimento e a condutividade hidráulica (ANGYALOSSY *et al.*, 2015).

É interessante ressaltar que as proporções dos tecidos observadas nos diferentes estágios de desenvolvimento apresentaram poucas diferenças entre eles, ou seja, a planta se desenvolve e atinge um maior diâmetro em direção à base, significativamente diferente entre os estágios, mantendo-se quase uma mesma quantidade de tecidos parenquimáticos e mecânicos proporcionalmente (lignificados/composto por células de paredes mais espessas). Estas semelhanças foram observadas em relação à porcentagem de xilema secundário e área de fibras. Por outro lado, há uma tendência a uma diminuição da área cortical do ápice em direção à base, e da área da medula, que é menor na região da base com relação aos estágios mais juvenis, relacionado a um incremento na porcentagem de tecidos mecânicos com relação aos tecidos parenquimáticos, o que pode ser relacionado à função de maior sustentação desempenhada por esta região dos caules, antes que estes ramos se fixem em algum suporte.

5.1 Biomecânica

Os ramos buscadores de *O. urceolata* apresentam uma maior rigidez nas porções basal e mediana, com relação ao ápice - o que é esperado para ramos auto-suportantes, onde o Módulo de Young, que é o parâmetro que representa esta maior firmeza, é maior nessas regiões (Tabela 1). Ramos buscadores em sua fase inicial de desenvolvimento, antes de se fixarem a um suporte, possuem essa capacidade auto-suportante, em parte atribuída à ocorrência de um módulo de Young mais elevado nas partes basais, devido à presença de uma maior proporção de tecidos rígidos (lignificados), como relatado na literatura (ROWE & SPECK, 1996; ISNARD *et al.*, 2003; ROWE & SPECK, 2006).

Com relação à “rigidez à flexão”, as porções basais são mais rígidas do que as porções juvenis, novamente indicando a função de suporte desempenhada pela base

nesta fase de desenvolvimento do ramo buscador. A base torna-se mais rígida devido à combinação de um maior "segundo momento de área", que está diretamente relacionado ao maior diâmetro observado na base junto com um "módulo de Young" mais elevado, gerando uma rigidez maior do que nas outras porções. Houve diferença apenas entre ápice-meio e base, ou entre ápice e meio-base. Os resultados indicam um ápice mais flexível, compatível com a sua função "buscadora", sustentado por uma base mais rígida, auto-suportante (HATTERMAN *et al.* 2022).

Quanto à proporção dos tecidos analisados na contribuição ao segundo momento de área, observou-se apenas diferenças com relação às contribuições da medula e do córtex, que foram justamente os que apresentaram diferenças entre as fases de desenvolvimento. Na espécie analisada, a maior rigidez e resistência observada na base dos caules se deveu a uma combinação de: redução proporcional dos tecidos flexíveis (parenquimáticos) e aumento dos tecidos mecânicos (lignificados), que ocorrem em maior quantidade pois as bases possuem um maior diâmetro.

6. Conclusão

O. urceolata apresenta a arquitetura mecânica tipicamente observada em trepadeiras e lianas, onde os ramos buscadores são auto-suportantes e apresentam-se mais rígidos do que as porções do caule que encontraram um suporte. Destacamos como pontos interessantes:

- O surgimento do xilema lianóide nas porções basais de alguns indivíduos, quando estes ainda são auto-suportantes, podendo indicar que essa espécie começa o desenvolvimento de sua fase lianescente antes mesmo de se fixar;
- A proporção dos tecidos mecânicos (lignificados) e flexíveis (parênquimáticos/com paredes primárias) se manteve muito semelhante entre as fases de desenvolvimento, demonstrando que o aumento da rigidez e resistência das porções mais maduras destes caules se baseiam no crescimento e expansão do diâmetro dos caules, e por consequência, no aumento dos tecidos mecânicos concomitante a uma pequena diminuição da proporção dos tecidos flexíveis.

7. Referências

- **ANGYALOSSY, V.**; PACE, M. R. & LIMA, A. C. **2015**. “Liana anatomy: a broad perspective on structural evolution of the vascular system”. Em: SCHNITZER, S. & BONGERS, S. 2015. “Ecology of Lianas”. 1ª edição. Editora Wiley Blackwell.
- **ANGYALOSSY, V.**; ANGELES, G.; PACE, M. R.; LIMA, A. C.; DIAS-LEME, C. L.; LOHMANN, L. G. & MADERO-VEGA, C. **2011**. “An overview on the anatomy, development and evolution of the vascular system of lianas”. *Plant Ecology & Diversity*, vol 5, nº 2, pag. 167-182.
- **APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. & CARMELLO-GUERREIRO, S. 2006**. “Anatomia Vegetal”. 2ª edição. Viçosa, Editora UFV.
- **APGAUA, D. M. G.**; TNG, D. Y. P.; CERNUSAK, L. A.; CHEESMAN, A. W.; SANTOS, R. M.; EDWARDS, W. J. & LAURANCE, S. G. W. **2017**. “Plant functional groups within a tropical forest exhibit different wood functional anatomy”. *Functional Ecology*, vol. 31, nº3, pag. 582-591.
- **CARLQUIST, S. 2013**. “Comparative Wood Anatomy”. 2ª edição. Berlin, Springer Science & Business Media.
- **ENDRESS, M. E.**; LIEDE-SCHUMANN, S. & MEVE, U. **2014**. “An updated classification for Apocynaceae”. *Phytotaxa*, vol. 159, nº3, pag 175.
- **FIGUEIREDO, C. de. 1913**. “Novo dicionário da língua portuguesa”. 2ª edição. Lisboa, Editora Livraria Clássica.
- **FIGUEIREDO, C. F. de. 2011**. “Anatomia e identificação macroscópica caulinar das lianas da Reserva Florestal do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil”. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, departamento de botânica.
- **GEROLAMO, C. S. 2016**. “Dinâmica, anatomia, biomecânica e condutividade hídrica de lianas da floresta amazônica”. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, departamento de botânica.

- **GERWING**, J. J.; SCHNITZER, S. A.; BURNHAM, R. J.; BONGERS, F.; CHAVE, J.; DEWALT, S. J.; EWANGO, C. E. N.; FOSTER, R.; KENFACK, D.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; PARREN, M.; PARTHASARATHY, N.; PÉREZ-SALICRUP, D. R.; PUTZ, F. E., & THOMAS, D. W. **2006**. "A standard protocol for liana censuses". *Biotropica*, vol. 38, nº2, pag 256-261.
- **HATTERMAN**, T.; PETIT-BAGNAR, L.; HEINZ, C.; HEURET, P. & ROWE, N. P. **2022**. "Mind the gap: Reach and mechanical diversity of searcher shoots in climbing plants". *Frontiers in Forests and Global Change*, vol.5, 836247.
- **ISNARD**, S.; SPECK, T. & ROWE, N. P.; **2003**. "Mechanical architecture and development in *Clematis*: implications for canalized evolution of growth form". *New Phytologist*, vol. 158, nº3, pag. 543-559.
- **KRAUS**, Jane Elizabeth & **ARDUIN**, Marcos. **1997**. "Manual básico de métodos em morfologia vegetal". Seropédica, EDUR.
- **LARROSA**, C. R. R. & **DUARTE**, M. do R. **2006**. "Anatomia foliar e caulinar de *Forsteronia glabrescens*, Apocynaceae". *Acta farmacéutica bonaerense*, vol. 25, nº 1, pag. 28-34.
- **LETCHER**, S. G. & **CHAZDON**, R. L. **2009**. "Lianas and self-supporting plants during tropical forest succession". *Forest Ecology and Management*, vol. 257, nº10, pag. 2150-2156.
- **MENDES**, R. M. de S. & **CHAVES**, B. E. **2015**. "Sistemática Vegetal: Noções básicas com enfoque em algumas famílias de angiospermas representativas do Brasil". 2ª edição. Fortaleza, Editora da Universidade Estadual do Ceará.
- **METCALFE**, C.R. & **CHALK**, L. **1950**. "Anatomy of the dicotyledons". Volume 2. Oxford, Clarendon Press.
- **PLUMIER**, C. **1693**. "Description des plantes de l'Amérique, avec leurs figures".
- **PUTZ**, F. E. & **CHAI**, P. **1987**. "Ecological studies of lianas in Lambir National Park, Sarawak, Malaysia". *The Journal of Ecology*, vol. 75, nº2, pag. 523-531.

→ **PUTZ, F. E. & MOONEY, H. A. 1991.** "The biology of vines". 1ª edição. Cambridge, Cambridge University Press.

→ **REY, A. 2010.** "Dictionnaire historique de la langue française contenant les mots français en usage". 1ª edição. Paris, Le Robert.

→ **ROWE, N. P. 2018.** "Lianas". *Current Biology*, 28.

→ **ROWE, N. P. & SPECK, T. 1996.** "Biomechanical characteristics of the ontogeny and growth habit of the tropical liana *Condylocarpon guianense* (Apocynaceae)". *International Journal of Plant Sciences*, vol. 157, nº4, pag. 406-417.

→ **ROWE, N. & SPECK, T. 2005.** "Plant growth forms: an ecological and evolutionary perspective". *New Phytologist*, vol. 166, nº1, pag.61-72.

→ **ROWE, N. & ISNARD, S. & SPECK, T. 2006.** "Diversity of mechanical architectures in climbing plants: an ecological perspective" Em: HERRERL, A.; SPECK, T. & ROWE, N. P. 2006. "Ecology and biomechanics: a mechanical approach to the ecology of animals and plants". Boca Raton, CRC Press.

→ **SCHNITZER, S. A. & BONGERS, F. 2002.** "The ecology of lianas and their role in forests". *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 17, nº5, pag 223-230.

→ **SOFFIATTI, P. & ROWE, N. P. 2020.** "Mechanical innovations of a climbing cactus: Functional insights for a new generation of growing robots". *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 7, pag. 64.

→ **SOFFIATTI, P.; FORT, E.; HEINZ, C.; ROWE, N. P. 2022.** "Trellis-forming stems of a tropical liana *Condylocarpon guianense* (Apocynaceae): A plant-made safety net constructed by simple "start-stop" development". *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, pag 1016195.

→ **SPECK, T. & BURGERT, I. 2011.** "Plants stems: functional design and mechanics".

Annual Review of Materials Research, vol.41, nº1, pag. 169-193.

→ **VILLAGRA**, B. L. P. **2008**. “Diversidade florística e estrutura da comunidade de plantas trepadeiras no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil”.
Dissertação de mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente.