

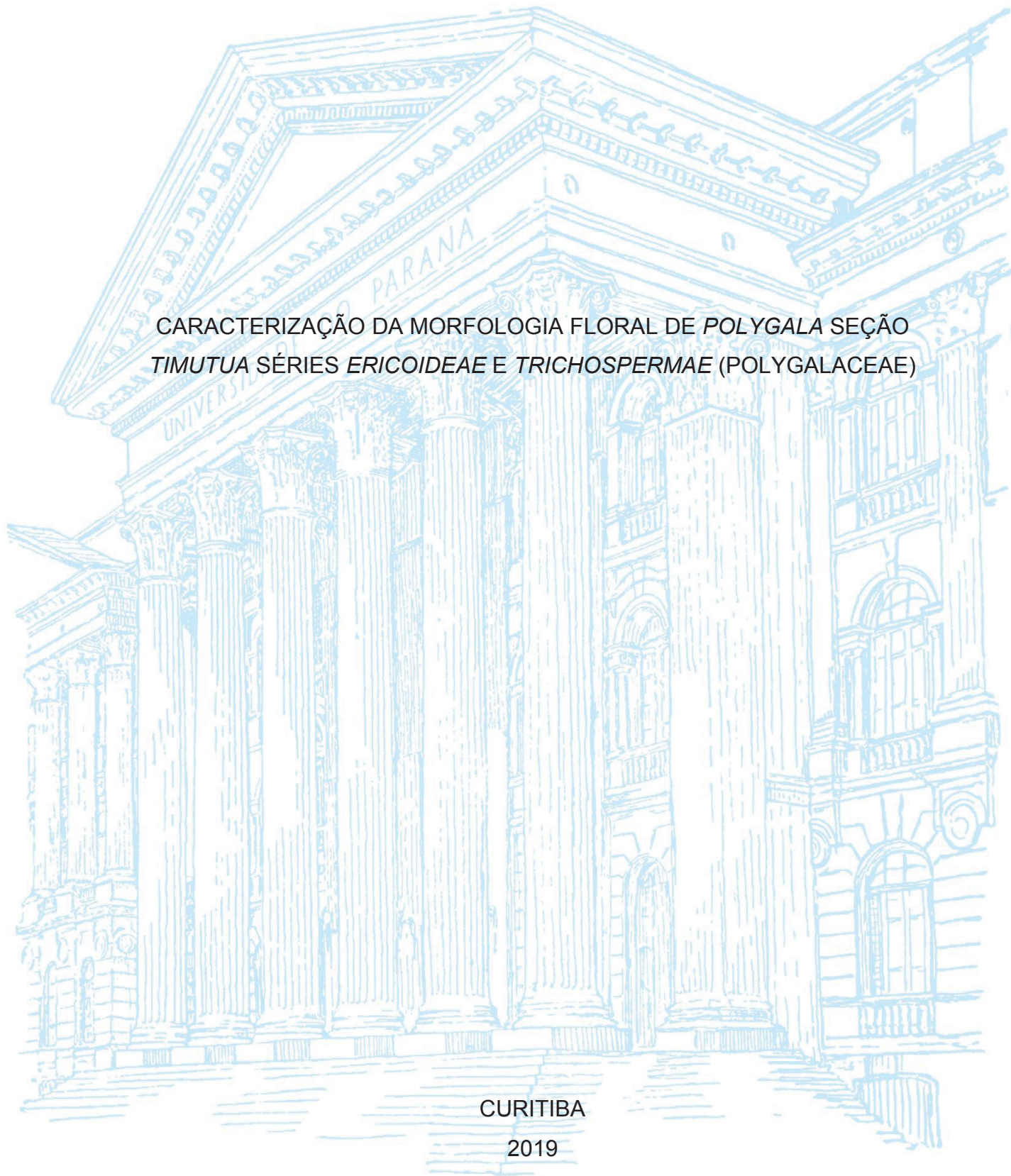
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

STHAYLANNY SILVEIRA FLAVIANO

CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA FLORAL DE *POLYGALA* SEÇÃO  
*TIMUTUA* SÉRIES *ERICOIDEAE* E *TRICHOSPERMAE* (POLYGALACEAE)

CURITIBA

2019



STHAYLANNY SILVEIRA FLAVIANO

CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA FLORAL DE *POLYGALA* SEÇÃO  
*TIMUTUA* SÉRIES *ERICOIDEAE* E *TRICHOSPERMAE* (POLYGALACEAE)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Botânica.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika Amano

Coorientador: Prof. Dr. José Floriano Barêa Pastore

CURITIBA

2019

Universidade Federal do Paraná. Sistema de Bibliotecas.  
Biblioteca de Ciências Biológicas.  
(Dulce Maria Bieniara – CRB/9-931)

Flaviano, Sthaylanny Silveira  
Caracterização da morfologia floral de *Polygala* seção *Timutua* séries  
*Ericoideae* e *Trichospermae* (Polygalaceae). / Sthaylanny Silveira  
Flaviano. – Curitiba, 2019.  
70 p.: il.

Orientadora: Érika Amano  
Coorientador: José Floriano Barêa Pastore

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Botânica.

1. Glândulas 2. Morfologia vegetal 3. Resinas vegetais 4. Plantas I.  
Título II. Amano, Érika III. Pastore, José Floriano Barêa IV. Universidade  
Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-  
Graduação em Botânica.

CDD (20. ed.) 583.143



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Setor de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Botânica



Caracterização da morfologia floral de *Polygala* seção *Timutua* series *Ercoideae* e  
*Trichospermae* (Polygalaceae)

por

Sthaylanny Silveira Flaviano

Dissertação aprovada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre no Programa  
de Pós-Graduação em Botânica, pela Comissão  
formada pelos doutores

---

Érika Amano

---

Cleusa Bona

---

Ana Cristina Andrade de Aguiar Dias

Curitiba, 11 de outubro de 2019.

*Á meus pais, irmã e companheiro de vida.  
Á tio Geraldinho de quem não pude me despedir (in memoriam).*

## RESUMO

*Polygala* é o maior gênero de Polygalaceae, sendo considerado cosmopolita. Estudos filogenéticos mostram o gênero separado em “New Word Clade” e “Old Word Clade”. No “NWC” estão incluídas três seções, sendo a seção *Timutua* (105 espécies no Brasil) subdividida em 10 séries. Os estudos filogenéticos recentes mostram que *Timutua* precisa de ampla revisão que reconheça apenas grupos monofiléticos. Entretanto, as séries *Ericoideae* e *Trichospermae* foram observadas formando um único clado ‘Trichospermae/Ericoideae’, sendo um desafio para nova classificação das séries *Timutua*. Além disso, as espécies do grupo apresentam estruturas amareladas distintas nas flores. Estas estruturas são amplamente descritas como ‘glândulas-cróceas/amareladas’. No entanto, não foi confirmado se são realmente glândulas. Ainda que alguns estudos tenham relatado sobre desenvolvimento e vascularização floral, as estruturas amareladas não foram mencionadas. Nesse contexto, foi estudada a morfologia floral das espécies, sendo este dividido em capítulos. Capítulo 1: flores de 33 espécies e semente de 30 espécies foram analisadas para identificar caracteres morfológicos dos clados. Dados morfológicos e moleculares de 24 espécies foram usados na análise filogenética. Desta forma, o clado ‘Trichospermae’ foi reconhecido como monofilético, sendo formado por quatro clados internos. O clado interno ‘Trichospermae I’ é bem suportado, sendo identificados como caracteres diagnósticos a proporção do unguículo, cúculo em relação a carena e proporção da pétala sem adnação. Os clados internos ‘Ericoideae I e II’ não apresentaram sinapomorfia, mas possuem homoplasias que caracterizam suas espécies. Por fim, no clado interno ‘Trichospermae II’ não foram identificados caracteres diagnósticos, sendo necessário mais estudos que contribuam na sua caracterização. Capítulo 2: A espécie nova *P. petrophila* foi examinada e descrita. *P. petrophila* é próxima de *P. rigida* por seus caracteres morfológicos florais, mas pode ser distinguida pelas folhas e alguns aspectos das peças florais. *P. petrophila* tem preferência por habitat rochoso e apresenta estruturas amareladas nas flores comum as outras espécies do grupo. Capítulo 3: Análises da ‘glândula-crócea’ foram realizadas com duas espécies do grupo. Amostras florais foram processadas seguindo técnicas usais de microscopia de luz, fluorescência, eletrônica de varredura e transmissão. As glândulas amareladas presente nas flores de *Polygala* são cavidades que secretam resina. Nenhuma estrutura que funcione como via de liberação da substância para o ambiente externo foi observada. A cavidade secretora está presente antes mesmo da formação do botão floral. Sendo encontrada nas brácteas, no ápice da inflorescência. O desenvolvimento da cavidade acompanha todo o desenvolvimento da flor, sendo visível primeiro nas peças externas, seguido das peças internas. O ovário é a última peça a desenvolver a cavidade secretora, que permanece até o amadurecimento do fruto. A diferenciação da cavidade é iniciada por várias divisões celulares, seguido por uma formação esquizogênica com substância produzida em vesículas. A substância sintetizada é armazenada no lúmen da cavidade. Diante da estrutura e substância produzida, acredita-se que sua função seja proteção da flor contra herbivoria, além de auxiliar na cicatrização de lesões. A partir desses resultados, estudos ecológicos que avaliem a interação planta-animal em relação a cavidade secretora são recomendados.

Palavras-chave: cavidade secretora. dados morfológicos. resina. Polygalae.

## ABSTRACT

*Polygala* is the largest genus of Polygalaceae, being considered cosmopolitan. Phylogenetic studies show the separate genus in "New Word Clade" and "Old Word Clade." The "NWC" includes three sections, the section *Timutua* (105 species in Brazil) subdivided into 10 series. Recent phylogenetic studies show that *Timutua* needs extensive review that recognizes only monophyletic groups. However, the *Ericoideae* and *Trichospermae* series were observed to form a single clade '*Trichospermae/Ericoideae*', challenging the new classification of the *Timutua* series. In addition, the species in the group have distinct yellowish structures in the flowers. These structures are broadly described as 'croceo/yellowish glands'. However, it has not been confirmed if they are really glands. Although some studies have reported on floral development and vascularization, yellowish structures have not been mentioned. In this context, the floral morphology of the species was studied, divided into chapters. Chapter 1: Flowers of 33 species and seed of 30 species were analyzed to identify morphological characters of clades. Morphological and molecular data from 24 species were used in phylogenetic analysis. Thus, the '*Trichospermae*' clade was recognized as monophyletic, being formed by four internal clades. The internal clade '*Trichospermae* I' is well supported, being identified as diagnostic characters the proportion of the unguiculo, cuculo in relation to keel and proportion of the petal without adnation. The internal clades '*Ericoideae* I and II' did not present synapomorphies, but have homoplasies that characterize their species. Finally, in the internal clade '*Trichospermae* II' no diagnostic characters were identified, and further studies are needed to contribute to its characterization. Chapter 2: The new species *P. petrophila* has been examined and described. *P. petrophila* is close to *P. rigida* for its floral morphological characters but can be distinguished by the leaves and some aspects of the floral pieces. *P. petrophila* has a preference for rocky habitat and presents yellowish structures in flowers common to the other species of the group. Chapter 3: Analysis of the 'croceo-gland' was performed with two species of the group. Floral samples were processed following usual light microscopy, fluorescence, scanning electron, and transmission techniques. The yellowish glands present in *Polygala* flowers are cavities that secrete resin. No structure that functions as a route of release of the substance to the external environment was observed. The secretory cavity is present even before flower bud formation. Being found in the bracts, at the inflorescence apex. The development of the cavity follows the entire development of the flower, being visible first on the outer parts, followed by the inner parts. The ovary is the last piece to develop the secretory cavity, which remains until the fruit ripens. Cavity differentiation is initiated by several cell divisions, followed by schizogenic formation with substance produced in vesicles. The synthesized substance is stored in the lumen of the cavity. Given the structure and substance produced, it is believed that its function is protection of the flower against herbivory, as well as assisting in wound healing. From these results, ecological studies that evaluate the plant-animal interaction in relation to the secretory cavity are recommended.

Keywords: morphological data. Polygalae. resin. secretory cavity.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>9</b>
<b>2 CAPÍTULO I - DIVERSIDADE DA MORFOLOGIA FLORAL DE <i>POLYGALA</i> SEÇÃO <i>TIMUTUA</i> SÉRIE <i>TRICHOSPERMAE</i> E <i>ERICOIDEAE</i>.....</b>	<b>16</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	19
2.3 RESULTADOS .....	20
2.3.1 Morfologia floral .....	20
2.3.2 Análise filogenética .....	21
2.4 DISCUSSÃO .....	22
2.5 REFERÊNCIAS .....	26
<b>3 CAPÍTULO II - <i>POLYGALA PETROPHILA</i> (POLYGALACEAE: SUBG. <i>POLYGALA</i>: SER. <i>ERICOIDEAE</i>), A NEW SPECIES OF <i>POLYGALA</i> FROM MINAS GERAIS, BRAZIL .....</b>	<b>43</b>
INTRODUCTION .....	44
TAXONOMIC TREATMENT .....	44
Diagnosis.....	46
Distribution and habitat.....	46
Conservation status.....	46
Etymology.....	46
LITERATURE CITED .....	47
<b>4 CAPÍTULO III - ORIGEM E COMPOSIÇÃO DAS CHAMADAS ‘GLÂNDULAS CRÓCEAS’ EM <i>POLYGALA</i> (POLYGALACEAE) .....</b>	<b>52</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	53
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.3 RESULTADOS .....	56
4.4 DISCUSSÃO .....	58
4.5 REFERÊNCIAS .....	60
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>69</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

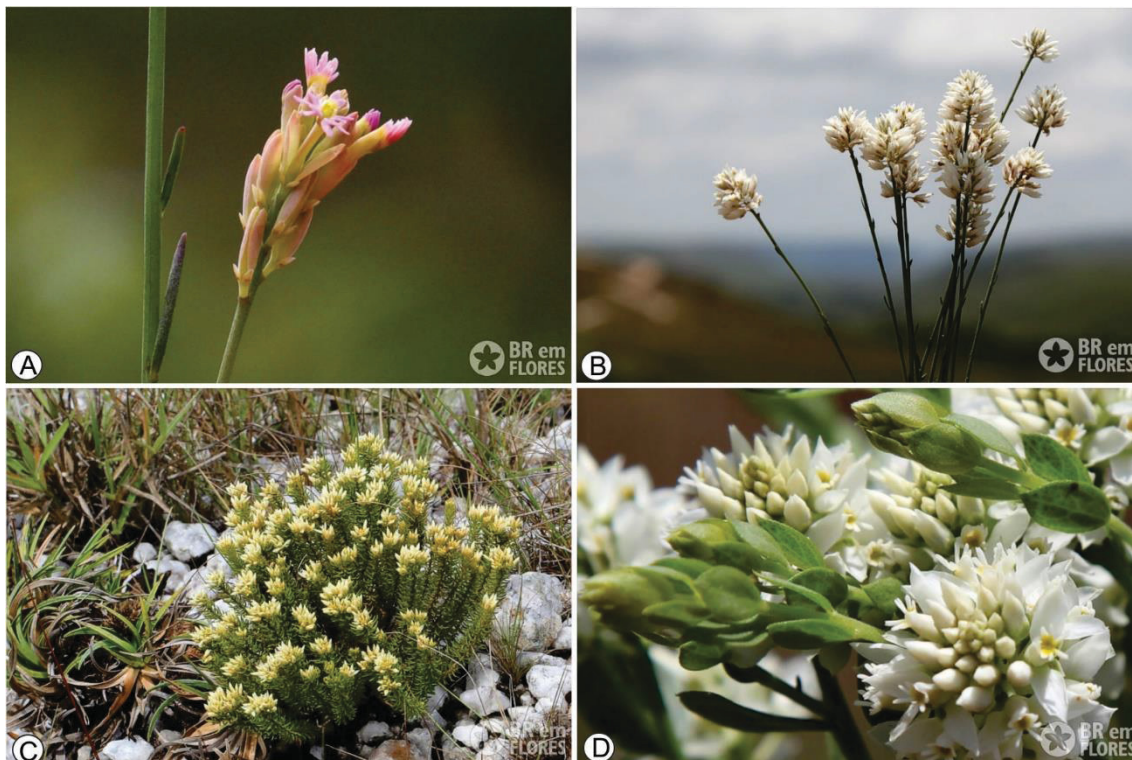
Polygalaceae Hoffmanns. & Link é uma família cosmopolita, ausente apenas nas regiões árticas e Nova Zelândia (Stevens, 2012). Inicialmente foi descrita pertencendo à ordem Polygalales (De Candolle, 1824), mas passou por modificações sistemáticas desde que foi proposta. Em 1903 foi transferida para ordem Geraniales, na classificação delimitada por Engler (1903). No sistema APG (1998) foi reclassificada para ordem Fabales, onde permanece atualmente ao lado de Fabaceae Lindl., Quillajaceae D.Don e Surianaceae Arn. (APG IV, 2016).

A família compreende quatro tribos, das quais três foram determinadas por Chodat (1896), Xanthophylleae Baill., Diclidanthereae Reveal, Polygaleae Fr. e uma por Eriksen (1993), Carpolobieae B.Eriksen. Entre as tribos estão distribuídos os 29 gêneros e 1.233 espécies pertencentes à Polygalaceae (Mota et al., 2019; Pastore comm. pess.). Entretanto, a grande maioria das espécies pertence a tribo Polygalae, com 1.099 espécies distribuídas em 21 gêneros, representando quase 90% das espécies da família (Mota et al. 2019; Pastore, comm. pess.). Por outro lado, o gênero *Polygala* (gênero típico da família e tribo Polygalae) abrange quase metade do total de espécies da família com 583 (Pastore, comm. pess.). Atualmente, *Polygala* compreende apenas três subgêneros *Polygala*, *Chodatia* Paiva e o subgênero monotípico *Brachytropis* (DC.) Chodat. Entretanto, considerando o contexto filogenético atual, o subgênero *Chodatia* deve ser desmembrado de *Polygala* como gênero independente, enquanto que o subgênero *Brachytropis* deve ser sinonimizado no subgênero *Polygala* (Pastore et al., 2019). Os outros subgêneros, que foram reconhecidos por Paiva (1998), exceto o típico, agora são tratados como gêneros independentes (Abbott 2011, Pastore 2012, Pastore & Abbott 2012, Pastore & Moraes 2013, Abbott & Pastore 2015).

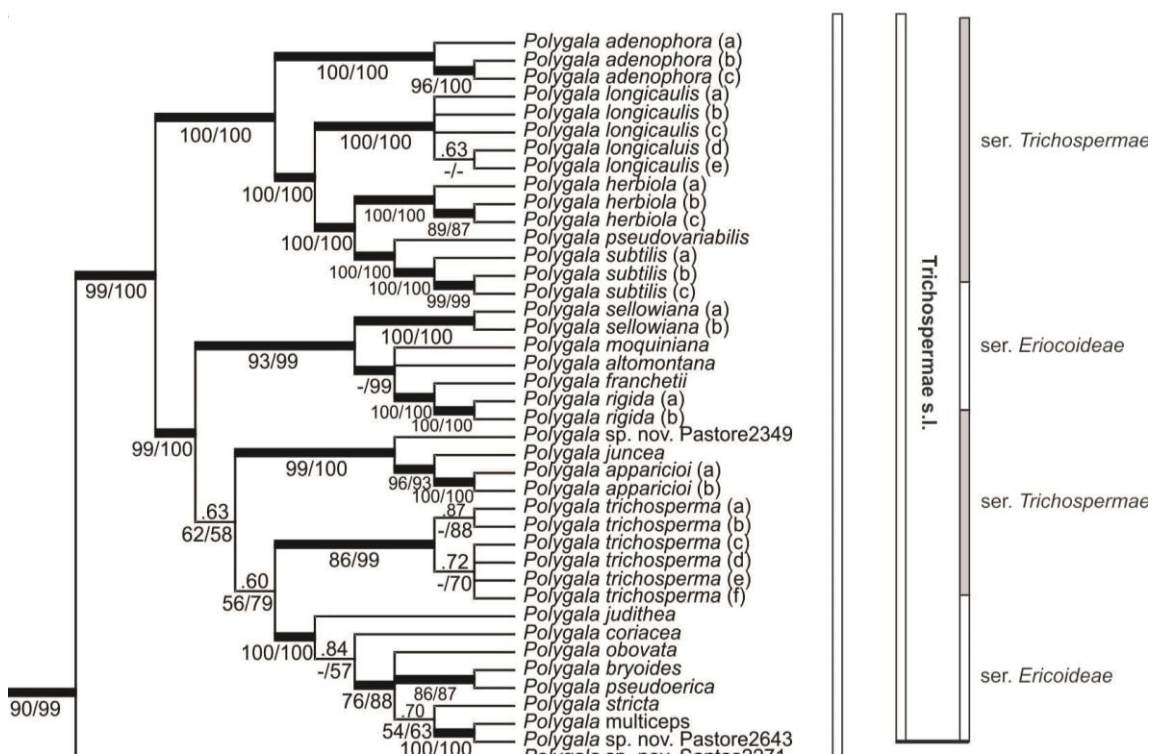
Estudos filogenéticos de Abbott (2009) e Pastore et al. (no prelo) mostram que o gênero *Polygala* está dividido em dois clados principais bem sustentados, chamados de 'Polygala New World Clade' (NWC) ou 'Clado do Novo Mundo' e 'Polygala Old World Clade' (OWC) ou 'Clado do Velho Mundo'. Sendo que nas análises de Pastore et al. (no prelo) estes dois clados, OWC e NWC, aparecem como linhagens distintas

Com 212 espécies, o chamado 'clado do Novo Mundo', na verdade tem uma ocorrência significativa no continente Africano, com nove espécies endêmicas do continente africano e Madagascar (Pastore, 2018). Neste clado (NW) estão incluídas três seções *Clinclinia* DC., *Timutua* DC. e *Monninopsis* S.F.Blake (Pastore et al., no prelo). As espécies brasileiras (107 no total) são principalmente da seção *Timutua* (das 177 espécies), com 105 ocorrendo no Brasil, (Pastore et al., no prelo), e duas espécies da seção *Clinclinia* (*P. aspalatha* L. e *Polygala cyparissias* A.St.-Hil. & Moq.) (Pastore, 2018).

Das seções que compreendem *Polygala*, a seção *Timutua* está subdividida em 10 séries (Chodat, 1893, Marques 1988). De maneira geral, os recentes estudos filogenéticos publicados por Pastore et al. (no prelo) mostram que a delimitação das séries em *Timutua* necessita de ampla revisão para reconhecer apenas grupos monofilético. Neste contexto, as séries historicamente reconhecidas *Ericoideae* Chodat e *Trichospermae* Chodat, por características morfológicas externas (Fig. 1), foram recuperadas formando um clado bem sustentado. Onde as espécies de *Ericoideae* formam um clado, no qual está imerso o clado *Trichospermae* (Fig. 2) (Pastore et al., no prelo). Desta forma, o clado '*Trichospermae/Ericoideae*' é um desafio para a nova classificação das séries *Timutua*, para o qual temos a pergunta inicial desta dissertação: Qual seria a melhor classificação taxonômica deste clado '*Trichospermae/Ericoideae*', considerando 1) separar este clado em pequenas unidades taxonômicas ou 2) reconhecer o clado inteiro '*Trichospermae/Ericoideae*' como uma única entidade taxonômica?



**Figura 1:** Espécies das séries *Trichospermae* (A-B) e *Ericoideae* (C-D). A) *P. adenophora* DC.; *P. juncea* A. St.-Hil & Moq.; C) *P. bryoides* A. St.-Hil & Moq.; D) *P. coriacea* A. St.-Hil & Moq. Foto: H. J. C. Moreira



**Figura 2:** Cladograma baseado em sequências de DNA das regiões plastídias (*matK*, *rbcL*, *trnL-F*) combinadas com nuclear (*nrITS*). Os de probabilidade posterior são mostrados acima dos ramos ou quando 1.0, os ramos são mostrados em negrito. Os valores abaixo dos ramos são valores de *bootstrap* RaxML (esq.), parcimônia (direita). (Fonte: Pastore et al., *no prelo*)

Mesmo com questões taxonômicas não resolvidas envolvendo as espécies do gênero, são pontuais os trabalhos que tratam de sua taxonomia. Sendo principalmente relacionados à descrição de novas espécies (Marques & Pastore, 2006; Eren et al., 2008; Ludtke et al., 2008; Siebert et al., 2010), estudos florísticos (Ludtke et al., 2013; Pastore & Silveira, 2016) e molecular para a família (Persson, 2001). Ainda assim, diversas questões sobre as delimitações taxonômicas ainda não estão esclarecidas. Sendo as maiores lacunas envolvendo o gênero e suas categorias infragenéricas.

Outra questão interessante relacionada às espécies de *Polygala* são as chamadas 'glândulas cróceas', as quais são eventualmente observadas em algumas peças florais e cápsulas em diferentes formas e tamanhos. Estas estruturas ocorrem apenas em *Polygala* NWC (em alguns clados), sendo inicialmente descritas por Saint-Hilaire & Moquin (1828) nos estudos clássicos que descreveram as várias espécies brasileiras de Polygalaceae, seus aspectos biogeográficos e estruturas morfo-anatômicas. Estruturas secretoras em folhas (Aguiar-Dias et al., 2012) e caule (Aguiar-Dias et al., 2011) são descritas para o gênero, mas em flores nada foi mencionado. Os estudos que trataram da anatomia e morfologia floral em *Polygala*, de Milby (1976) e Eriksen (1993), não analisaram as glândulas sob qualquer aspecto. Sendo estas estruturas relatadas e ilustradas apenas em estudos florísticos (Ludtke et al., 2008; Ludtke et al., 2013, Ferreira et al., 2017) e descrições de novas espécies (Marque & Pastore, 2006; Pastore, 2018). A distribuição das glândulas ocorre principalmente nas sépalas superiores externas, carena e ovário/fruto. A posição das glândulas pode variar, ocorrendo na base ou ao longo da peça floral. Mesmo sendo evidentes as 'glândulas cróceas' não tiveram sua anatomia e natureza do conteúdo elucidada, promovendo questionamentos dos motivos para investir recurso na formação da estrutura e possível produção de substância.

Nesta dissertação foram realizados os seguintes estudos que estão divididos nos seguintes capítulos:

- 1) Estudo morfológico floral das espécies do clado '*Trichospermae/Ericoideae*';

- 2) Descrição de uma espécie nova analisada durante o estudo do capítulo anterior;
- 3) Estudo anatômico da estrutura secretora em *Polygala longicaulis* Kunth e *Polygala moquiniana* A.St.-Hil & Moq., clado 'Trichospermae/Ericoideae'

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J. R. **Phylogeny of the Polygalaceae and a revision of *Badiera***. 291f. Tese (Doutorado em Phylosophy) - University of Florida, Florida, 2009.
- ABBOTT, J. R. Notes on the disintegration of *Polygala* (Polygalaceae), with four new genera for the flora of North America. **Journal of the Botanical Research Institute of Texas**, 5(1): 125-137, 2011.
- ABBOTT, J. R.; PASTORE, J. F. B. Preliminary synopsis of the genus *Hebecarpa* (Polygalaceae). **Kew Bulletin**, v. 70, p. 39, 2015.
- AGUIAR-DIAS A.C.A.; CARDOSO-GUSTAVSON P. Ontogeny of the mucilage ducts of *Polygala angulata* DC. (Polygalaceae). **Journal of the Torrey Botanical Society**, 138: 255-261, 2011.
- AGUIAR-DIAS A.C.A.; YAMAMOTO K.; CASTRO M.M. Anatomia foliar de cinco espécies de *Polygala* de restinga e cerrado. **Rodriguésia** 63:395-404, 2012.
- APG (THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP). An Ordinal Classification for the Families of Flowering Plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 85(4): 531–553, 1998.
- APG (THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 181: 1–20, 2016.
- CHODAT, R. H. Monographia Polygalacearum. **Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève**, Genève, 31(2): 1-500, 1893.
- CHODAT, R. Polygalaceae. *In*: Engler, H. G. A. & Prantl, K. A. E. **Die Natürlichen Pflanzenfamilien**, 3: 323-345, 1896.
- DE CANDOLLE, A. P. Polygaleae. **Prodomus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis**. Genève, 1: 321-342, 1824.
- ENGLER, A. **Syllabus der pflanzenfamilien**. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 143-149, 1903.
- EREN, O.; PAROLLY, G.; RAUS, T.; KURSCHNER, H. A new species of *Polygala* L. (Polygalaceae) from south-west Anatolia. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 158: 82–86, 2008.
- ERIKSEN, B. Floral anatomy and morphology in the Polygalaceae. **Plant Systematics and Evolution**, Austria, 186: 17-32, 1993.

- FERREIRA D.M.C.; BARBOSA J.I.S.; ALVES M. Flora da Usina São José, Igarassu, Pernambuco: Polygalaceae. **Rodriguésia**, 68: 251-262, 2017.
- LUDTKE, R.; BOLDRINI, I. L.; MIOTTO, S. T. S. *Polygala altomontana* (Polygalaceae) a new species from southern Brazil. **Kew Bulletin**, 63: 665-667, 2008.
- LUDTKE, R.; SOUZA-CHIES, T. T.; MIOTTO, S. T. S. O gênero *Polygala* L. (Polygalaceae) na região Sul do Brasil. **Hoehnea**, 40(1): 1-50, 2013.
- MARQUES M.C.M. Polígalas do Brasil V Seção *Polygala* (Polygalaceae). **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 29: 1-114, 1988.
- MARQUES, M. C. M.; PASTORE, J. F. B. Duas espécies novas de *Polygala* L. (Polygalaceae) para o Brasil. **Rodriguésia**, 57: 99-102, 2006.
- MILBY T.H. 1976. Studies in the Floral Anatomy of *Polygala* (Polygalaceae). **American Journal of Botany**, 63: 1319-1326.
- MOTA, M. C. A.; ABBOTT, J. R.; SALAS, R.; NEUBIG, K. M.; PASTORE, J. F. B. Tree lonely Argentines: Towards a new generic delimitation in Polygalaceae. **Taxon** (2019).
- PAIVA J.A.R. Polygalarum Africanarum et Madagascariensium prodromus atque gerontogaei generis *Heterosamara* Kuntze, a genere *Polygala* L. segregati et a nobis denuo recepti, synopsis monographica. **Fontqueria**, 50:1–346, 1998.
- PASTORE, J. F. B. Caamembeca: generic status and new name for *Polygala* subgenus *Ligustrina* (Polygalaceae). **Kew Bulletin**, 67: 435-442, 2012.
- PASTORE, J. F. B. *Polygala veadeiroensis* (Polygalaceae), a new species of *Polygala* endemic to Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. **Kew Bulletin**, 73: 37-39, 2018.
- PASTORE, J. F. B.; ABBOTT, J. R. Taxonomic notes and new combinations for *Asemeia* (Polygalaceae). **Kew Bulletin**, 67: 801-813, 2012.
- PASTORE, J. F. B.; MORAES, P. L. R. Generic status and lectotypification for *Gymnospora* (Polygalaceae). **Novon**, 22: 304-306, 2013.
- PASTORE, J. F. B.; SILVEIRA, J. B. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Polygalaceae. **Rodriguésia**, 67(5): 1451-1458, 2016.
- PASTORE, J. F. B.; ABBOTT, J. R.; NEUBIG, K. M.; BERG C. V. D.; MOTA, M. C. A.; CABRAL, A.; WHITTEN. W. M. Phylogeny and biogeography of *Polygala* (Polygalaceae). **Taxon** (no prelo).
- PERSSON, C. Phylogenetic Relationships in Polygalaceae Based on Plastid DNA Sequences from the trnL-FRegion. **Taxon**, 50(3): 763-779, 2001.
- SAINT-HILAIRE A.F.C.P.; MOQUIN-TANDON C.B.A. Conspectus Polygacearum Brasiliae Meridionalis. **Anais da Sociedade de Ciências, Belles-Lettres e Arts d'Orléans** 9: 44–59, 1828.
- SIEBERT, S. J.; RETIEF, E.; VAN WYK, A. E.; STRUWIG, M. A new species of *Polygala* (Polygalaceae) from ultramafic soils in Sekhukhuneland, South Africa, whit notes on its ecology. **South African Journal of Botany**, 76: 345–353, 2010.

STEVENS, P. F. 2001. Angiosperm Phylogeny Website. Version 12, July 2012 [and more or less continuously updated since]. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>. Acesso em: 15 Mai. 2018

**CAPÍTULO I - Diversidade da morfologia floral de *Polygala* seção *Timutua* série *Trichospermae* e *Ericoideae***

(A ser submetido à Acta Botanica Brasilica)

**RESUMO**

*Polygala* seção *Timutua* (clado do Novo Mundo) está subdividido, desde 1893 por Chodat, em diversas séries, dentre estas *Ericoideae* e *Trichospermae*. Entretanto, estudos moleculares recentes, recuperaram membros da série *Ericoideae* imersas no clado ‘*Trichospermae*’ (formado por membros das séries *Trichospermae*+*Ericoideae*) demonstrando a necessidade de uma revisão taxonômica para este grupo. Neste contexto, foi analisada a morfologia floral das espécies de ambas as séries, buscando identificar caracteres morfológicos que ajudem a delimitar taxonomicamente os cladogramas recuperados na filogenia. Desta forma, 33 espécies foram dissecadas e fotografadas para comparação das estruturas florais, e análise em MEV da semente de 30 espécies. Dados morfológicos e moleculares de 24 espécies foram usados na análise filogenética. Como resultado, as análises recuperaram o clado ‘*Trichospermae*’ como monofilético, sendo composto por quatro cladogramas internos. Mesmo com a variação morfológica, os caracteres identificam os grupos observados na árvore consenso. O clado interno ‘*Trichospermae* I’ é bem suportado e identificado com sinapomorfias. O clado interno ‘*Ericoideae* I e II’ mesmo não tendo sinapomorfia, possui homoplasia que caracterizam suas espécies. No clado interno ‘*Trichospermae* II’ não foram identificados caracteres diagnósticos, sendo necessário mais estudos que contribuam na sua caracterização. Outros estudos que ampliem a identificação de caracteres diagnósticos para os grupos são importantes.

**Palavras-chave:** dados morfológicos, morfologia floral, *Polygala*, Polygalae, Polygalaceae

## 2.1 INTRODUÇÃO

O gênero *Polygala* L. compreende ca. 583 espécies o que representa quase metade do total descrito para a família Polygalaceae (Pastore, comm. pess.), e está incluído na tribo Polygalae Fr. O gênero é caracterizado pelas flores papilionoides com alas que são sépalas petaloides persistentes nos frutos e uma carena cristada (Chodat 1893; Marques 1979; Paiva 1998). Atualmente *Polygala* tem três subgêneros, *Polygala*, *Brachytropis* (DC.) Chodat e *Chodatia* Paiva, esse último provavelmente será desmembrado de acordo com o último estudo filogenético (Pastore *et al.* no prelo). Enquanto que o subgênero monotípico *Brachytropis* deve ser sinonimizado no subgênero *Polygala* (Pastore *et al.* no prelo).

*Polygala* está separado filogeneticamente em dois clados, OWC “Old Word Clade” (Clado do Velho Mundo) e NWC “New Word Clade” (Clado do Novo Mundo) (Abbott 2009), que são apresentados como linhagens distintas por Pastore *et al.* (no prelo). O NWC possui 212 espécies, e apesar do nome este clado inclui cerca de nove espécies Africanas, as quais nunca foram amostradas em estudos filogenéticos (Pastore *et al.* 2018). Este clado é integrado pelas seções *Clinclinia* DC., *Timutua* DC. e *Monninopsis* S.F.Blake (Pastore *et al.* no prelo), com espécies que ocorrem principalmente da América do Norte até a América do Sul. No Brasil são encontradas 107 espécies, das quais duas são da seção *Clinclinia* (Pastore 2018) e 105 de *Timutua* (Pastore *et al.* no prelo).

As espécies brasileiras da seção *Timutua* foram estudadas por Marques (1988), que forneceu descrições morfológicas, além de uma chave de identificação para as séries. Poucos estudos posteriores a Marques (1988) abordam aspectos da morfologia desta seção. Características morfológicas das espécies são mencionadas, pontualmente, em estudos florísticos como o de Lüdtke *et al.* (2013) para o Sul do Brasil e o de Pastore & Silveira (2016) para a Serra dos Carajás. Dados morfológicos também são encontrados

em descrições de novas espécies (Marques & Pastore 2006; Lüdtkke *et al.* 2008; Pastore 2018).

A seção *Timutua*, reconhecida por apresentar um estilete arqueado com uma cavidade pré-estigmática, está subdividida em 10 séries (Chodat 1893; Marques 1988). Dentre estas estão *Ericoideae* Chodat e *Trichospermae* Chodat, delimitadas por características morfológicas (Chodat 1893) e que de acordo com a última revisão das séries (Marques 1988) possuem 16 e 10 espécies, respectivamente. A série *Trichospermae* é caracterizada por espécies herbáceas em geral de áreas úmidas, folhas com pecíolo curto, sementes cônicas ou ovais, dotadas ou não de apêndices longos ou curtos e tem como tipo *P. trichosperma* Jacq. (Chodat 1893; Marques 1988). Em *Ericoideae* as espécies são robustas, ocasionalmente adaptadas ao fogo apresentando xilopódio, com folhas sésseis ou subsésseis, sementes oblongo-elípticas com apêndices bem longos e tem como tipo *P. pseudoerica* A.St.-Hil & Moq. (Chodat 1893; Marques 1988).

Os estudos moleculares baseados em sequências de DNA mostram membros das duas séries *Trichospermae* e *Ericoideae* formando um único clado (Abbott 2009; Pastore *et al.* no prelo). No primeiro estudo molecular a única espécie de *Ericoideae* amostrada está no mesmo clado das espécies de *Trichospermae* (Abbott 2009). *A posteriori*, a relação entre as duas séries foi confirmada por Pastore *et al.* (no prelo) que com a inclusão de mais espécies e sequenciamento das regiões de plastídios (*matK*, *rbcL*, *trnL-F*) e nuclear (nrITS), reconheceram membros de *Ericoideae* e *Trichospermae* formando o clado ‘Trichospermae’, sugerindo a necessidade de uma revisão na delimitação das séries.

Análises combinadas de dados morfológicos e moleculares têm sido empregada em diversos estudos de reconstrução das relações filogenéticas (Caddick *et al.* 2002;

Davis *et al.* 2011; Lu *et al.* 2012). No entanto, a aplicação deste tipo de abordagem em Polygalaceae ainda é incipiente (Abbott 2011; Bello *et al.* 2012).

O uso da análise combinada das espécies de *Polygala* poderia estabelecer quais caracteres morfológicos podem ser utilizados para uma delimitação infragenérica compatível com relações filogenéticas do grupo (reconhecimento de apenas grupos monofiléticos) e, assim, fornecer subsídios para uma revisão taxonômica das séries em *Timutua*. Neste contexto, foram analisadas a morfologia floral das espécies das séries *Trichospermae* e *Ericoideae* buscando identificar possíveis caracteres diagnósticos para o clado ‘Trichospermae’ e seus clados internos.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas 33 espécies de *Polygala* séries *Trichospermae* e *Ericoideae* dos herbários CEN, CTBS, HUEFS, R e RB (Thiers *et al.* 2019) (Tab.1). A espécie *P. cyparissias* (seção *Clinclinia* DC.) foi incluída como grupo externo. As flores foram hidratadas, dissecadas e fotografadas com auxílio de microscópio estereoscópio com câmera fotográfica acoplada e *software* Toup View.

Na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), sementes de 30 espécies foram desidratadas em série etílica, submetidas ao ponto crítico, fixadas em stubs e metalizadas com ouro. As análises e fotomicrografias foram feitas com auxílio de microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 6360-LV.

A caracterização morfológica das espécies seguiu as terminologias de Chodat (1893), Marques (1988), Pastore (2013) e Stearn (2004). Os caracteres foram codificados usando a metodologia de Sereno (2007).

Dados moleculares de regiões de plastídio e nuclear foram disponibilizados por Pastore *et al.* (no prelo). Na análise filogenética foram incluídas 24 espécies (*in group*) que tinham tanto dados moleculares quanto morfológicos. Foi construída uma matriz de

caracteres morfológicos com auxílio do programa Mesquite 3.1 (Maddison & Maddison 2018). A análise de máxima parcimônia foi realizada utilizando o *software* PAUP 4.0b10 (Swofford 2003) com valores de suporte estimado por 1.000 repetições de *bootstrap*. A árvore de consenso-estrito recuperada foi otimizada junto aos dados morfológicos no programa Mesquite 3.1.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Morfologia floral

A morfologia floral de *Polygala* é constituída por um racemo simples, com bráctea e bractéolas na base do pedicelo (Fig. 1 A-C). As flores contêm cinco sépalas, das quais três são externas com duas superiores e uma inferior e duas internas (Fig. 1 D-F); três pétalas, onde uma é modificada em carena (Fig. 1 G, G'), sendo dividida em regiões (crista, cúculo e unguículo), e as outras duas adnadas ao androceu que contém entre seis a oito estames (Fig. 1H); o ovário é bilocular, e o estilete é terminado em uma cavidade pré-estigmática com um tufo de tricomas no ápice (Fig. 1I); o fruto em capsula tem semente pubescente ou glabra (Fig. 1 J-M).

A carena é morfológicamente variável no comprimento e proporção do unguículo em relação ao cúculo e crista (Fig. 2). Mesmo a carena sendo variável as regiões são proporcionais em relação ao tamanho total na maioria das espécies de *Ericoideae* (Fig. 2G-c'), *Polygala* sp. nov. 'bringelii' e *P. juncea* (*Trichospermae*) (Fig. 2 A e D). Em *P. coriacea*, *P. obovata*, *P. rigida* (*Ericoideae*) (Fig. 2 H, L e a') e *Polygala* sp. nov. 'jataiensis' (*Trichospermae*) (Fig. 2 C) o tamanho da crista é maior, e nas espécies de *Trichospermae* o unguículo é maior em relação ao comprimento das outras regiões. A quantidade de lobos na crista varia entre 4-14 para as espécies, bem como a forma do cúculo que tem comprimento maior, menor ou igual a largura.

As espécies possuem o número de anteras entre 6-8. A adnação do androceu á pétala nas espécies de *Trichospermae* é mais que a metade do tamanho total do verticilo (Fig. 3 B-F, d'-m'), exceto em *Polygala* sp. nov. 'bringelii' (Fig. 3A) e espécies de *Ericoideae* em que a adnação é até metade do tamanho total do verticilo (Fig. 3 G-c').

O gineceu das espécies tem cavidade pré-estigmática terminada em um tufo de tricomas que é pedunculado ou sésil (Fig. 4). O ovário tem o tamanho variável para todas as espécies, bem como a forma, de elíptico a obovado. Entretanto, a proporção do comprimento maior que largura é quase uniforme (Fig. 4).

Nas sementes o indumento varia entre pubérulo ou piloso, exceto *P. saprophytica* Chodat e *P. subtilis* Kunth que têm sementes glabras (Fig. 5). A semente da maioria das espécies da série *Ericoideae* tem um formato homogêneo, em *Trichospermae* varia entre sementes triangular, ovado e elíptico. Na superfície das sementes foram observados tricomas ornamentados (Fig. 6 A-M). A ponta destes tricomas nas espécies varia entre côncava (Fig. 6F) e lobada (Fig. 6H). A maioria das espécies de ambas as séries tem tricomas eretos, exceto *P. apparicioi* Brade, *P. juncea* A.St.-Hil. & Moq. e *P. regnelli* Chodat onde a porção distal do tricoma possui uma curvatura (Fig. 6 I-M). A semente glabra de *P. saprophytica* tem ornamentação na cutícula (Fig. 6 N e O), enquanto que *P. subtilis* não possui ornamentação (Fig. 6 P e Q).

### 2.3.2 Análise filogenética

Foram analisados 19 caracteres para a construção da matriz morfológica (Tab 2 e 3) e 3.276 caracteres moleculares. A análise filogenética reconhece *Polygala* clado 'Trichospermae' como um grupo monofilético fortemente apoiado pelo suporte de *Bootstrap* (BP = 100) com quatro clados internos (Fig. 7). Na otimização dos dados morfológicos com a árvore consenso estrito (molecular), o clado 'Trichospermae' e seus clados internos é representado por sete caracteres diagnósticos. Os caracteres presença

de glândulas amarelas na sépala superior externa (Caractere (C)= 8, estado de caractere (E)= 1), presença de glândulas amarelas na sépala inferior externa (C= 10, E= 1) e cavidade pré-estigmática em forma de foice (C= 19, E= 1) são indicados como caracteres diagnósticos do grupo interno representado aqui apenas por espécies do clado ‘Trichospermae’ (Fig. 8). O clado interno ‘*Ericoideae I e II*’ é representado pelo caractere diagnóstico persistência da corola no fruto (C= 11, E= 1) (Fig. 9A). No clado ‘*Ericoideae I*’ (*P. judithea* J.F.B.Pastore, *P. coriacea* A.St.-Hil. & Moq., *P. bryoides* A.St.-Hil. & Moq., *P. pseudoerica* A.St.-Hil. & Moq., *P. obovata* A.St.-Hil. & Moq., *P. stricta* A.St.-Hil. & Moq., *P. multiceps* A.W.Benn.) são identificados os caracteres bráctea, bractéola, sépala superior e inferior externa ciliada (C= 4, E= 1; C= 5, E= 1; C= 7, E= 1; C= 9, E= 1), que são homoplásicos mas caracterizam as espécies deste grupo (Fig. 9 B-C; 10). O hábito com ramo partindo da base (C= 2, E= 0), caule tênue (C= 3, E= 0) e adnação do androceu as pétalas (C= 18, E= 1), mesmo sendo homoplásico caracteriza as espécies do clado interno ‘*Trichospermae I*’ (*P. longicaulis* Kunth, *Polygala* sp. nov. ‘michelliana’, *P. herbiola* A.St.-Hil. & Moq., *P. pseudovariabilis* Chodat, *P. subtilis* e *P. adenophora* DC.) (Fig. 11). Os caracteres carena proporção do unguículo (C= 14, E= 0), proporção do cúculo em relação a carena (C= 15, E= 0) e proporção da pétala sem adnação (C= 16, E= 0) são sinapomórfico para o clado interno ‘*Trichospermae I*’ (Fig. 12).

## 2.4 DISCUSSÃO

A morfologia floral das espécies é informativa quanto aos caracteres identificados. A comparação morfológica entre alguns verticilos florais mostra a variação no grupo, mas também indica a relação das espécies. Como na proporção do tamanho das regiões da carena, em que podemos inferir que a crista grande relaciona *P. rigida* com *P. coriacea* e *P. obovata*, as duas últimas vistas no mesmo clado na filogenia (Pastore et

*al.* no prelo). A carena com unguículo longo e crista pequena, e semente glabra são caracteres comuns a *P. subtilis* e *P. saprophytica* o que mostra a relação entre as espécies. Mesmo *P. saprophytica* não amostrada na análise filogenética, os caracteres identificados sugerem que estas são espécies irmãs. A adnação do androceu à pétala reforça a relação entre as espécies de *Ericoideae* e é um caractere diagnóstico dentro desse grupo. A curvatura no tricoma da semente de *P. apparicoi* e *P. juncea* é diagnóstico para as espécies, que são indicadas como irmãs em estudo filogenético (Pastore *et al.* no prelo). *Polygala regnelli* também possui curvatura no tricoma sugerindo uma relação filogenética próxima à estas duas espécies.

As análises morfológicas indicam que a delimitação das séries *Trichospermae* e *Ericoideae*, como propostas por Chodat (1893), não podem ser facilmente reconhecidas morfolologicamente pela morfologia floral. Por outro lado, sugere que a delimitação de um grupo mais abrangente, como clado ‘*Trichospermae*’ (= series *Ericoideae*+*Trichospermae*) (Pastore *et al.* no prelo), apesar da variação morfológica interna do grupo, seja uma delimitação mais consistente.

A árvore de consenso mostra o clado ‘*Trichospermae*’ com quatro cladogramas internos. Grupos internos neste clado foi mencionado em estudo molecular para o gênero (Pastore *et al.* no prelo), mas com uma topologia da árvore consenso diferente do encontrado aqui. Embora a diferença na topologia em ambos os estudos, aqui e em Pastore *et al.* (no prelo), possuem baixo valor de suporte (*bootstrap* e probabilidade posterior).

A presença de glândulas amareladas nas sépalas externas encontrada nas espécies do clado ‘*Trichospermae*’ é mencionada desde Chodat (1893), constantemente descrita nos estudos posteriores e para as espécies novas (Marques 1988; Ludtike *et al.* 2008; Pastore 2013). Esta estrutura é bem evidente nas espécies, mas nunca foi usada para distinguir os grupos. As glândulas tem reconhecido valor diagnóstico, pode ser

considerado um caractere derivado e tem potencial relevância morfofuncional para a flor, esse último será tratado em outro estudo. A cavidade pré-estigmática alongada em forma de foice é indicado como caractere diagnóstico para o clado 'Trichospermae'. Uma vez que sua morfologia é singular para as espécies desse clado. Outros estudos mais abrangentes com espécies da seção *Timutua* podem indicar se este caractere poderia ser utilizado para delimitar o clado 'Trichospermae'.

A corola persistente no fruto é comum às espécies do clado interno '*Ericoideae I e II*', como já descrito anteriormente (Marques 1988), mas também foi observado em *P. pseudovariabilis* e *P. subtilis* o que pode indicar um paralelismo no caractere. Ainda assim a persistência da corola é importante na identificação do clado interno '*Ericoideae I e II*', sendo indicado como caractere diagnóstico deste. A bráctea e bractéolas com margens ciliadas é uma característica presente em todas as espécies de '*Ericoideae I*', mesmo ocorrendo em algumas espécies fora do clado tem valor diagnóstico para este grupo. As margens ciliadas também estão presentes nos verticilos florais, podendo ser encontrado nas sépalas superior e inferior externa. As espécies de '*Ericoideae I*' possuem esse caractere, que também é encontrado em três espécies fora do clado, podendo indicar paralelismo no caractere. Mesmo não sendo exclusivo de um único grupo, caracteres homoplásicos são importantes e tem valor diagnóstico nas espécies do grupo em que ocorre.

Membros do clado '*Trichospermae I*' possuem ramo monopodial na base, como visto também em *P. pseudoerica* e *P. sellowiana* (clado '*Ericoideae*'), assim este é considerado aqui um caractere homoplásico. O caule tênue é característico dos membros do clado '*Trichospermae I*', apesar de ocorrer eventualmente em membros de outros cladros internos de 'Trichospermae'. Ter mais de metade da extensão do androceu adnado a pétala também caracteriza membros do clado '*Trichospermae I*', entretanto,

não é um carácter exclusivo, pois ocorre também em quatro espécies do clado ‘*Trichospermae* II’. Além disso, membros do clado ‘*Trichospermae* I’ têm como sinapomorfia a carena região do unguículo maior que a crista e cúculo, unguículo longo superando outras duas regiões da carena, enquanto que metade ou menos da pétala é livre (sem adnação), este último considerado também um caractere diagnóstico. A morfologia deste verticilo neste clado interno também é similar, sendo importante e indicando a proximidade destas espécies. A proporção do cúculo menor ou igual  $\frac{1}{4}$  em relação à carena caracteriza o clado interno ‘*Trichospermae* I’, exceto a espécie *P. subtilis* onde a proporção do cúculo-carena é ligeiramente maior, o que poderia ser explicado pelas flores e cristas muito reduzidas na espécie, excepcionalmente pequenas para membros do clado ‘*Trichospermae*’.

A amostragem da seção *Timutua* neste estudo foi insuficiente para avaliar se o clado ‘*Trichospermae*’, como entidade taxonômica, seria morfologicamente reconhecível em comparação às outras séries de *Timutua*. Assim a solução taxonômica de uma série ampla (*Ericoideae* I, *Ericoideae* II + *Trichospermae* I + *Trichospermae* II) não será aqui discutida.

A sugestão de reconhecer os membros de *Trichospermae* em duas séries independentes é suportado pelo fácil reconhecimento do clado interno ‘*Trichospermae* I’, o qual é reconhecível por mais de um caractere diagnóstico, dentre os quais a morfologia do unguículo alongado. Além disso, o clado interno ‘*Ericoideae* I e II’, mesmo não sendo identificado sinapomorfia, possui o caractere homoplásico corola persistente no fruto que relaciona suas espécies. Ter a margem ciliada nas sépalas e brácteas é comum em membros de ‘*Ericoideae* I’. Por outro lado, características que identifiquem apenas o clado interno ‘*Trichospermae* II’ e ‘*Ericoideae* II’ não foram encontradas. A delimitação da série *Ericoideae* (*Ericoideae* I + *Ericoideae* II) como

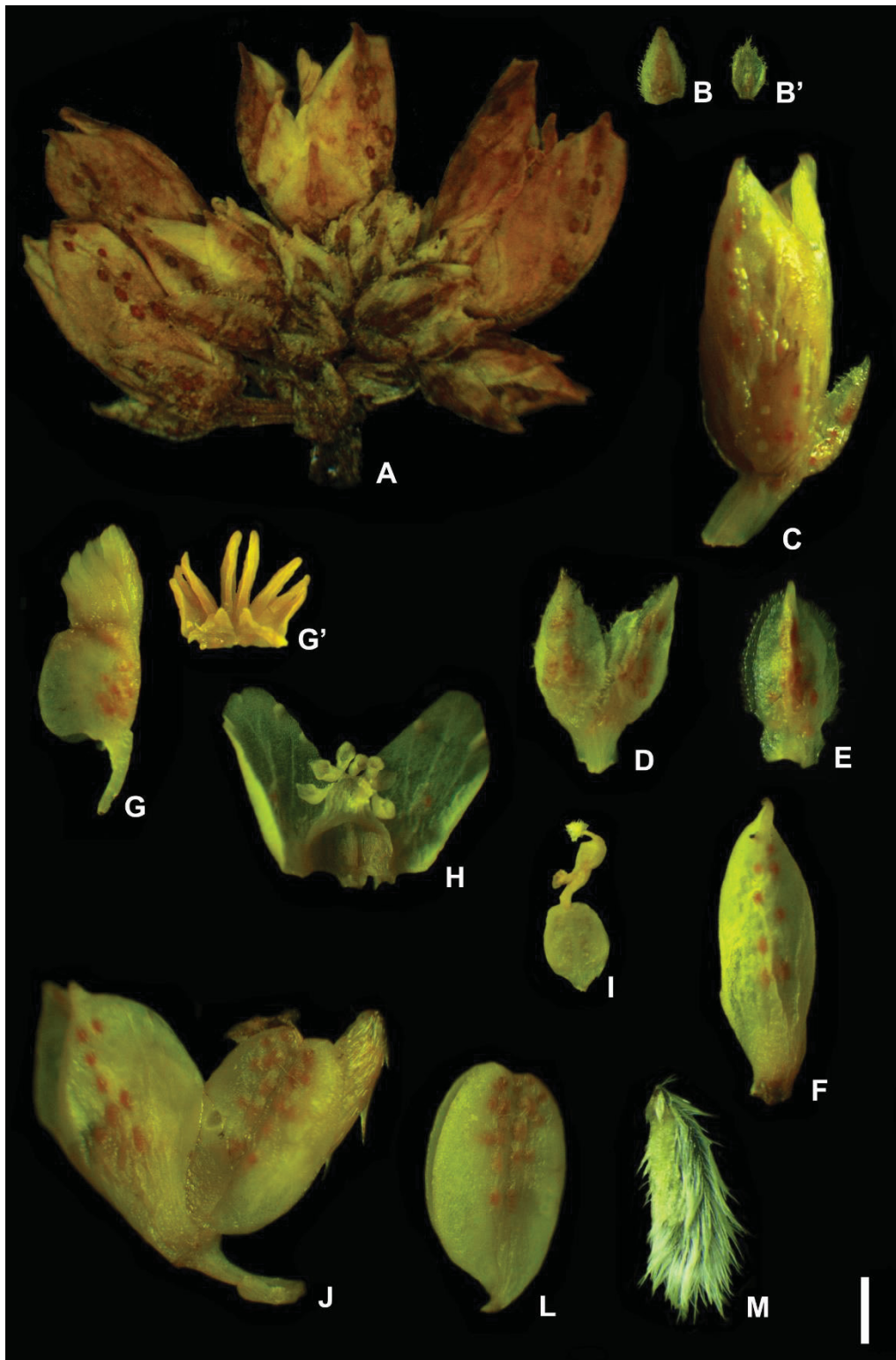
independente seria uma solução plausível, pois a série pode ser monofilética. Além de poder ser caracterizada morfológicamente e reconhecível. Entretanto, o clado ‘*Trichospermae* II’, não pode ser facilmente identificado e caracterizado.

Desta forma, apesar dos estudos morfológicos não foi possível sugerir uma redelimitação taxonômica para o grupo. A inclusão de órgãos vegetativos e caracteres anatômicos e polínicos poderiam auxiliar na delimitação taxonômica do clado ‘*Trichospermae*’ e, eventualmente, dos seus cladogramas internos.

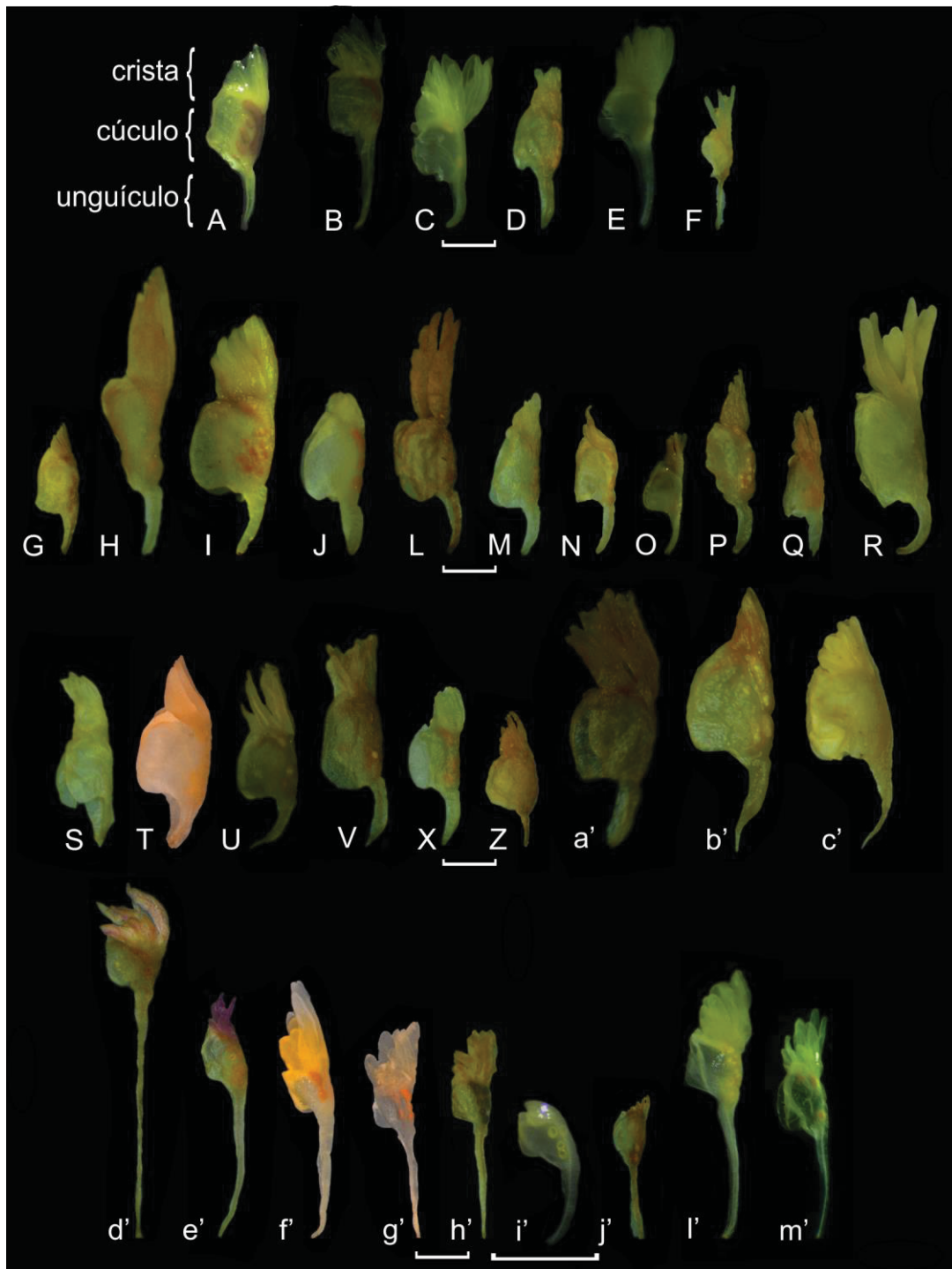
## 2.5 REFERÊNCIAS

- Abbott JR. 2009. Phylogeny of the Polygalaceae and a revision of *Badiera*. 291f. Tese (Doutorado em Phylosofy) – University of Florida.
- Abbott JR. 2011. Notes on the disintegration of *Polygala* (Polygalaceae), with four new genera for the flora of North America. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 5:125-137.
- Bello MA, Rudall PJ, Hawkins JA. 2012. Combined phylogenetic analyses reveal interfamilial relationships and patterns of floral evolution in the eudicot order Fabales. *Cladistics* 1:1-29.
- Caddick LR, Rudall PJ, Wilkin P, Hedderson TAJ, Chase MW. 2002. Phylogenetics of Dioscoreales based on combined analyses of morphological and molecular data. *Botanical Journal of Linnean Society* 138:123–144
- Chodat RH. 1893. *Monographia Polygalacearum*. Mémoires de la Société de Physique et d’Histoire Naturelle de Genève 31 :1-500.
- Davis AP, Tosh J, Ruch N, Fay MF. 2011. Growing coffe: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of Linnean Society* 167:357-377.
- Lu L, Wen J, Chen Z. 2012. A combined morphological and molecular phylogenetic analyses of *Parthenocissus* (Vitaceae) and taxonomic implications. *Revista Botânica da Sociedade Lineana* 168:43–63.
- Ludtke R, Boldrini IL, Miotto STS. 2008. *Polygala altomontana* (Polygalaceae) a new species from southern Brazil. *Kew Bulletin* 63:665-667.
- Ludtke R, Souza-Chies TT, Miotto STS. 2013. O gênero *Polygala* L. (Polygalaceae) na região Sul do Brasil. *Hoehnea* 40:1-50.
- Maddison WP, Maddison DR. 2018. Mesquite: a modular system for evolutionary analysis, version 3.5. Disponível em: <http://mesquiteproject.org>.

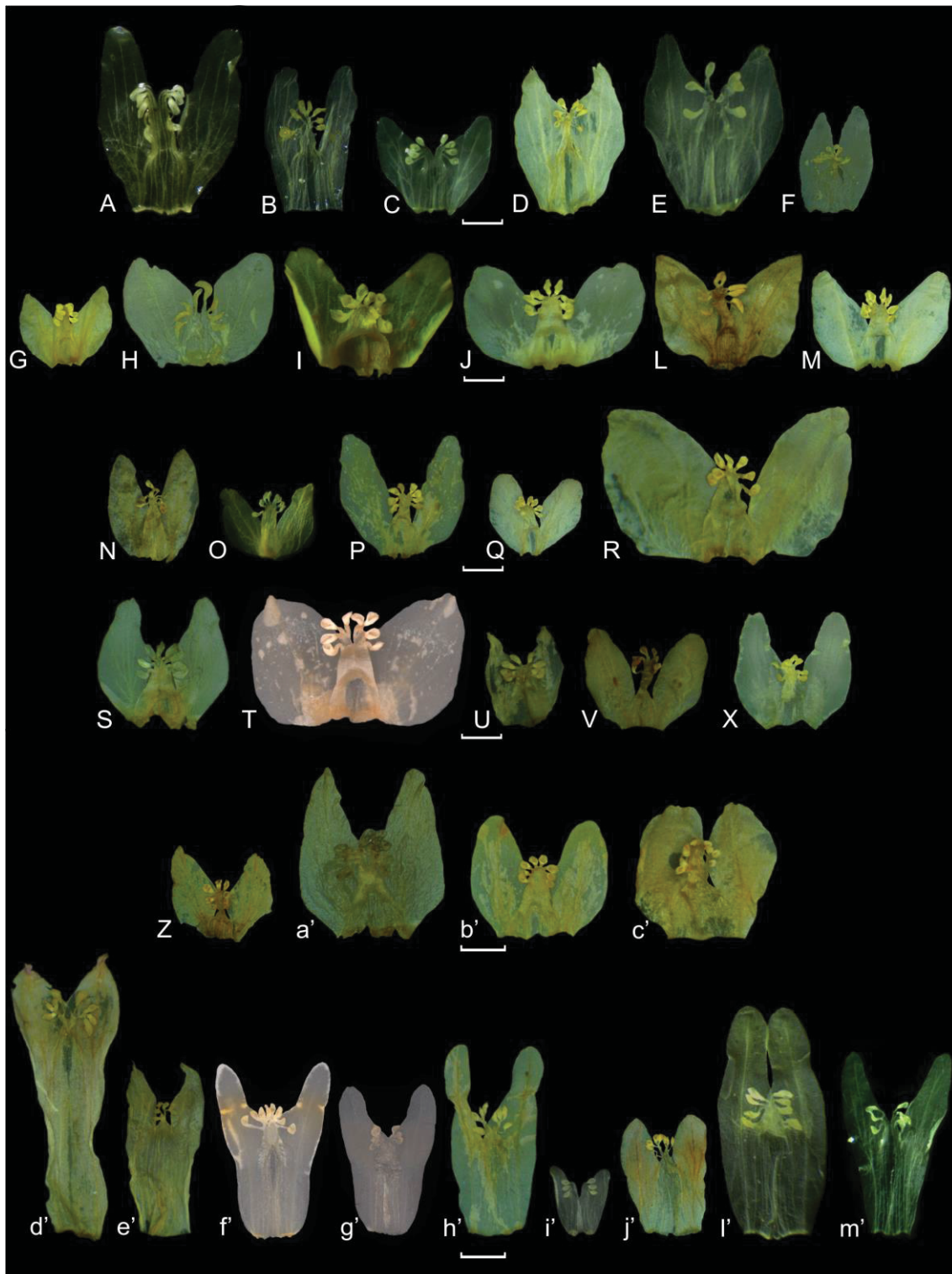
- Marques MCM. 1979. Revisão das espécies do gênero *Polygala* L. (Polygalaceae) do estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 31:69-339.
- Marques MCM. 1988. Polígalas do Brasil V Seção *Polygala* (Polygalaceae). *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* 29:1-114.
- Marques MCM, Pastore JFB. 2006. Duas espécies novas de *Polygala* L. (Polygalaceae) para o Brasil. *Rodriguésia* 57:99-102.
- Paiva JAR. 1998. *Polygalarum Africanarum et Madagascariensium prodomus atque gerontogaei generis Heterosamara Kuntze, a genere Polygala segregati et a nobis denuo recepti, synopsis monographica*. *Fontqueria* 50: 1-346.
- Pastore JFB. 2013. *Polygala judithea* (Polygalaceae), a new species from Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. *Kew Bulletin* 68:301-304.
- Pastore JFB. 2018. *Polygala veadeiroensis* (Polygalaceae), a new species of *Polygala* endemic to Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. *Kew Bulletin* 73:37-39.
- Pastore JFB, Silveira JB. 2016. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Polygalaceae. *Rodriguésia* 67:1451-1458.
- Pastore JFB, Abbott JR, Neubig KM, Berg Cvd, Mota MCA, Cabral A, Whitten WM. No prelo. Phylogeny and biogeography of *Polygala* (Polygalaceae). *Taxon*.
- Sereno PC. 2007. Logical basis for morphological characters in phylogenetics. *Cladistics* 23:565-587.
- Stearn WT. 2004. *Botanical Latin*, ed.4. Portland: Timber Press.
- Swofford DL. 2003. PAUP: phylogenetic analysis using parsimony (\*and other methods). V. 4.0beta10. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Thiers B. 2019. [continuously updated]. *Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff*. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Disponível em: <<http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>> Acesso em 4 março 2019.



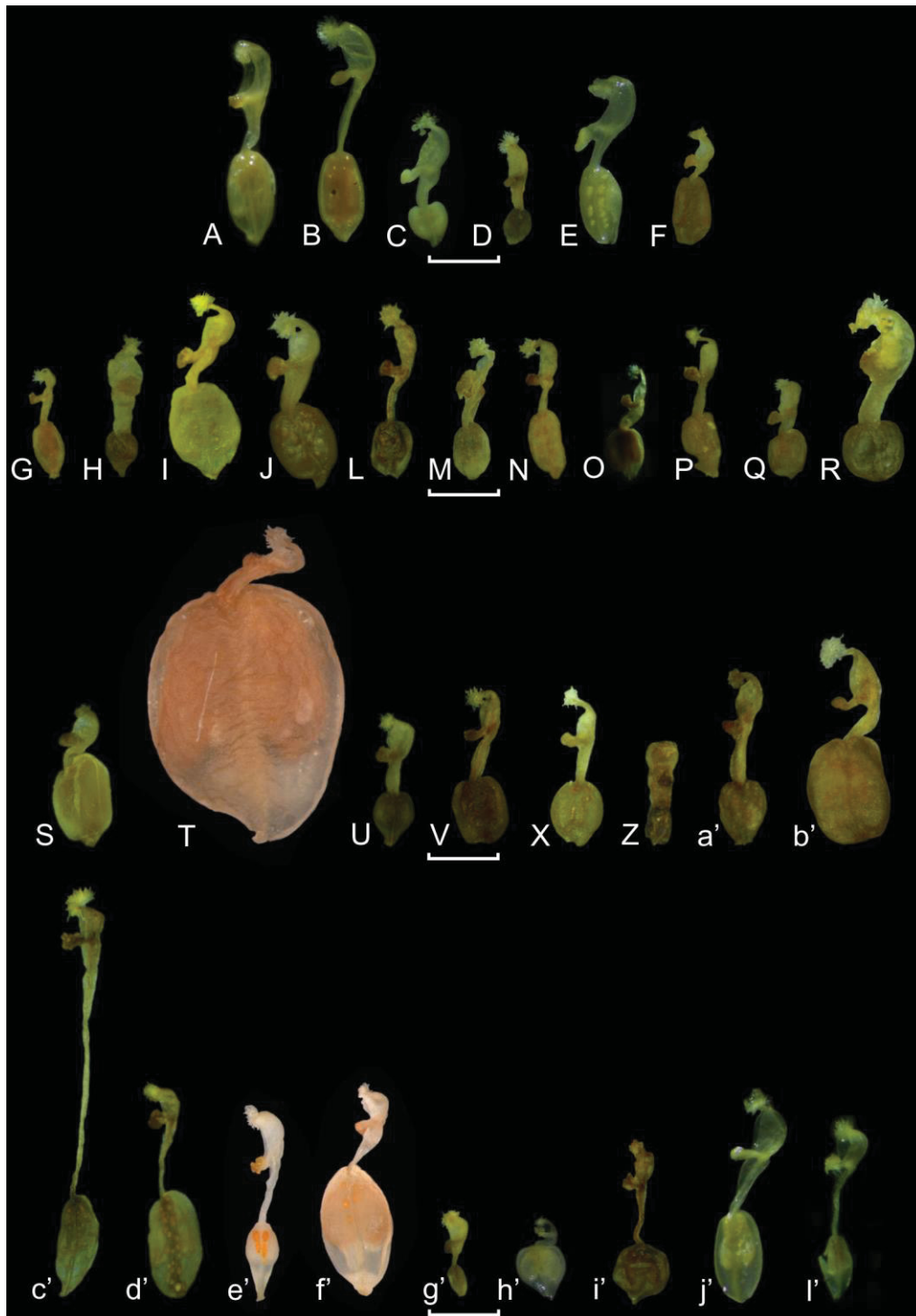
**Figura 1.** Morfologia geral da flor de *Polygala*. A-M) *P. bryoides*. A) Inflorescência; B, B') Bráctea, bractéola; C) Flor; D) Sépalas superiores externas; E) Sépala inferior externa; F) Sépala interna; G, G') Carena, crista da carena; H) Estames (adnado as pétalas); I) Gineceu; J) Fruto persistente no cálice; L) Cápsula; M) Semente. Escala 1mm



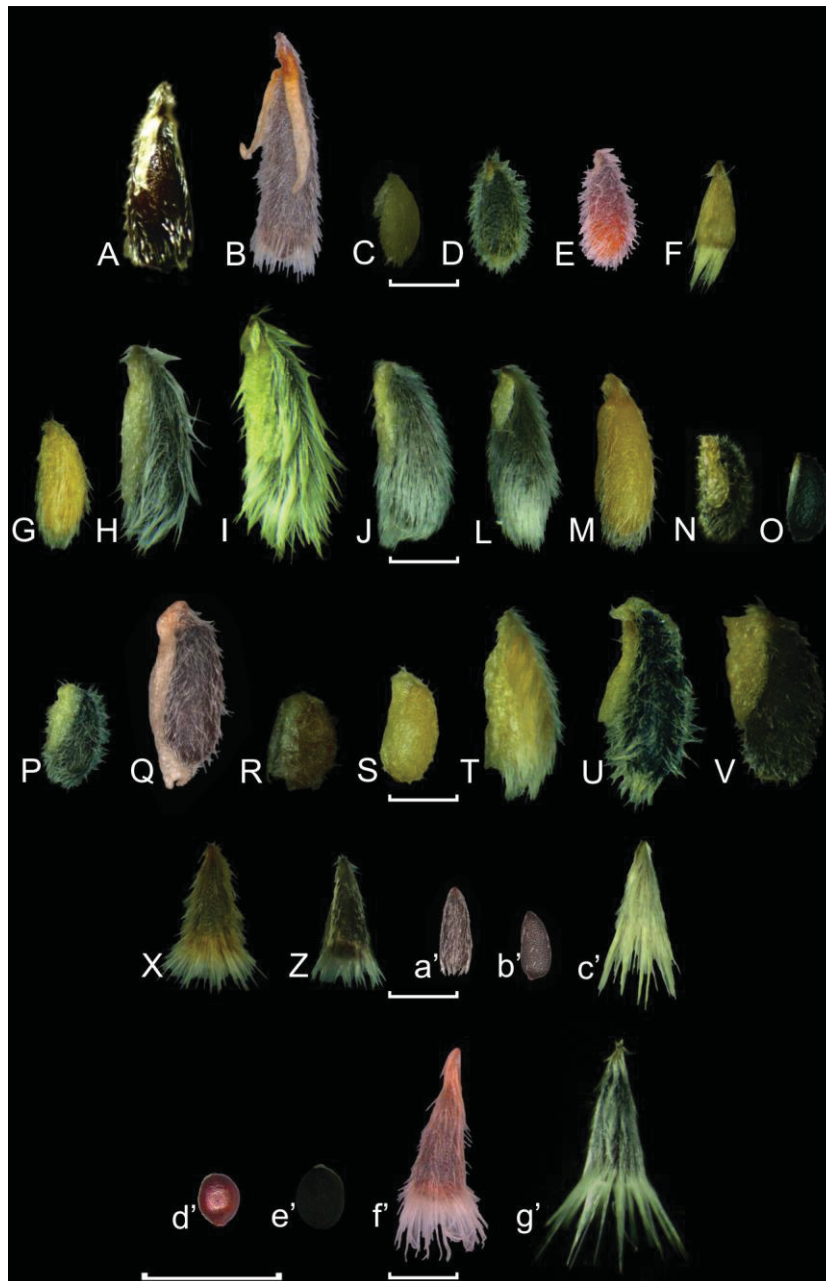
**Figura 2.** Morfologia da carena das espécies de *Polygala* série *Trichospermae* (A-F, d'-m') e *Ericoideae* (G-c'). A) *Polygala* sp. nov. 'bringelii', B) *P. trichosperma*, C) *Polygala* sp. nov. 'jataiensis', D) *P. juncea*, E) *P. apparicioi*, F) *P. sanariapoana*, G) *P. judithea*, H) *P. coriacea*, I) *P. bryoides*, J) *P. pseudoerica*, L) *P. obovata*, M) *P. stricta*, N) *P. multiceps*, O) *P. paradisiaca*, P) *P. grazielae*, Q) *P. lycopodioides*, R) *Polygala* sp. nov.1, S) *P. altomontana*, T) *P. franchetii*, U) *P. moquiniana*, V) *P. sellowiana*, X) *P. cneorum*, Z) *P. regnelli*, a') *P. rigida*, b') *Polygala* sp. nov.2, c') *P. subverticillata*, d') *P. adenophora*, e') *P. longicaulis*, f') *Polygala* sp. nov. 'michelliana', g') *P. herbiola*, h') *P. pseudovariabilis*, i') *P. subtilis*, j') *P. saprophytica*, l') *P. savannarum*, m') *P. pseudosavannarum*. Escala 1mm, 2mm (i')



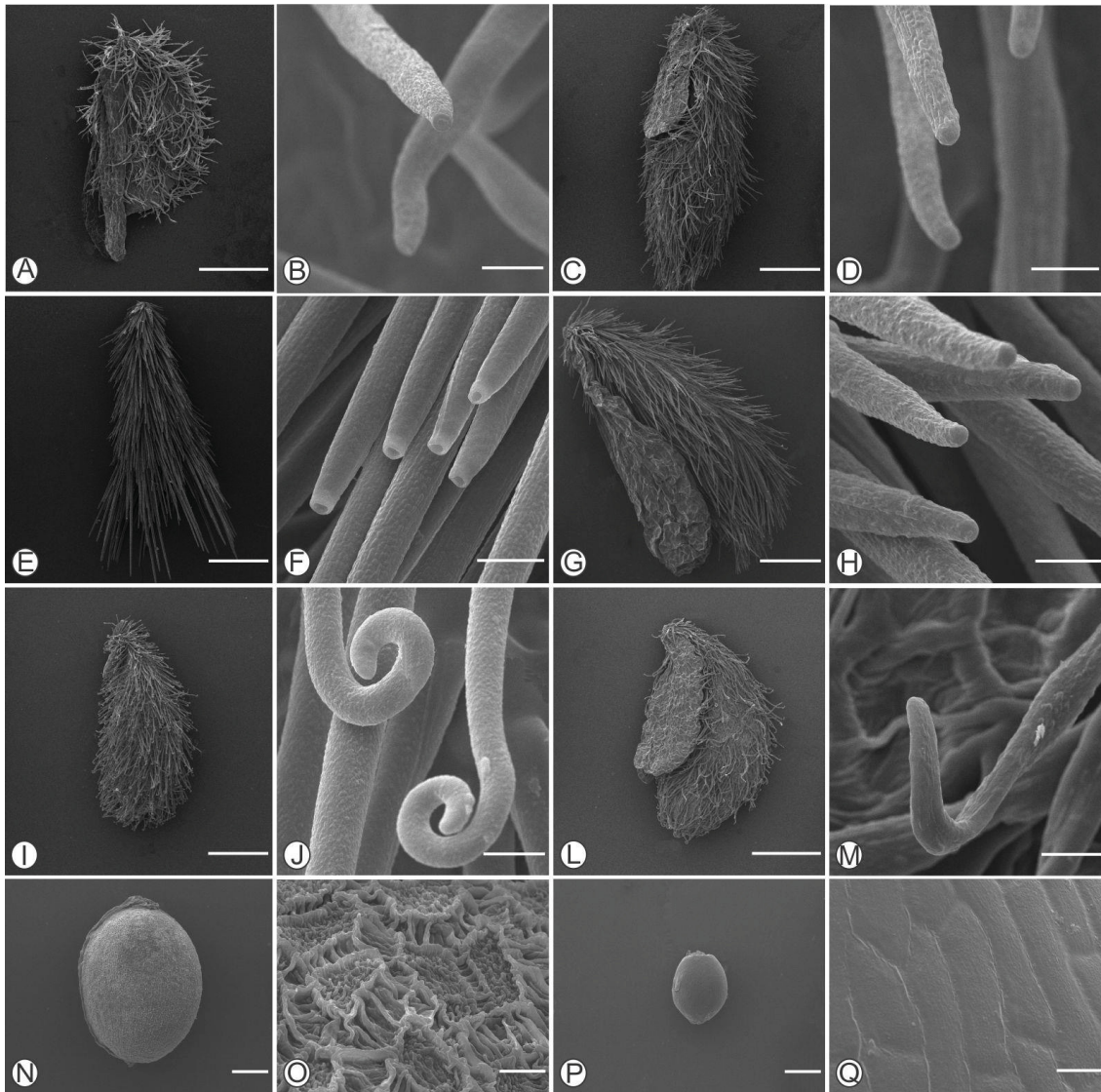
**Figura 3.** Morfologia do androceu das espécies de *Polygala* série *Trichospermae* (A-F, d'-m') e *Ericoideae* (G-c'). A) *Polygala* sp. nov. 'bringelii', B) *P. trichosperma*, C) *Polygala* sp. nov. 'jataiensis', D) *P. juncea*, E) *P. apparicioi*, F) *P. sanariapoana*, G) *P. judithea*, H) *P. coriacea*, I) *P. bryoides*, J) *P. pseudoerica*, L) *P. obovata*, M) *P. stricta*, N) *P. multiceps*, O) *P. paradisiaca*, P) *P. grazielae*, Q) *P. lycopodioides*, R) *Polygala* sp. nov.1, S) *P. altomontana*, T) *P. franchetii*, U) *P. moquiniana*, V) *P. sellowiana*, X) *P. cneorum*, Z) *P. regnelli*, a') *P. rigida*, b') *Polygala* sp. nov.2, c') *P. subverticillata*, d') *P. adenophora*, e') *P. longicaulis*, f') *Polygala* sp. nov. 'michelliana', g') *P. herbiola*, h') *P. pseudovariabilis*, i') *P. subtilis*, j') *P. saprophytica*, l') *P. savannarum*, m') *P. pseudosavannarum*. Escala 1mm



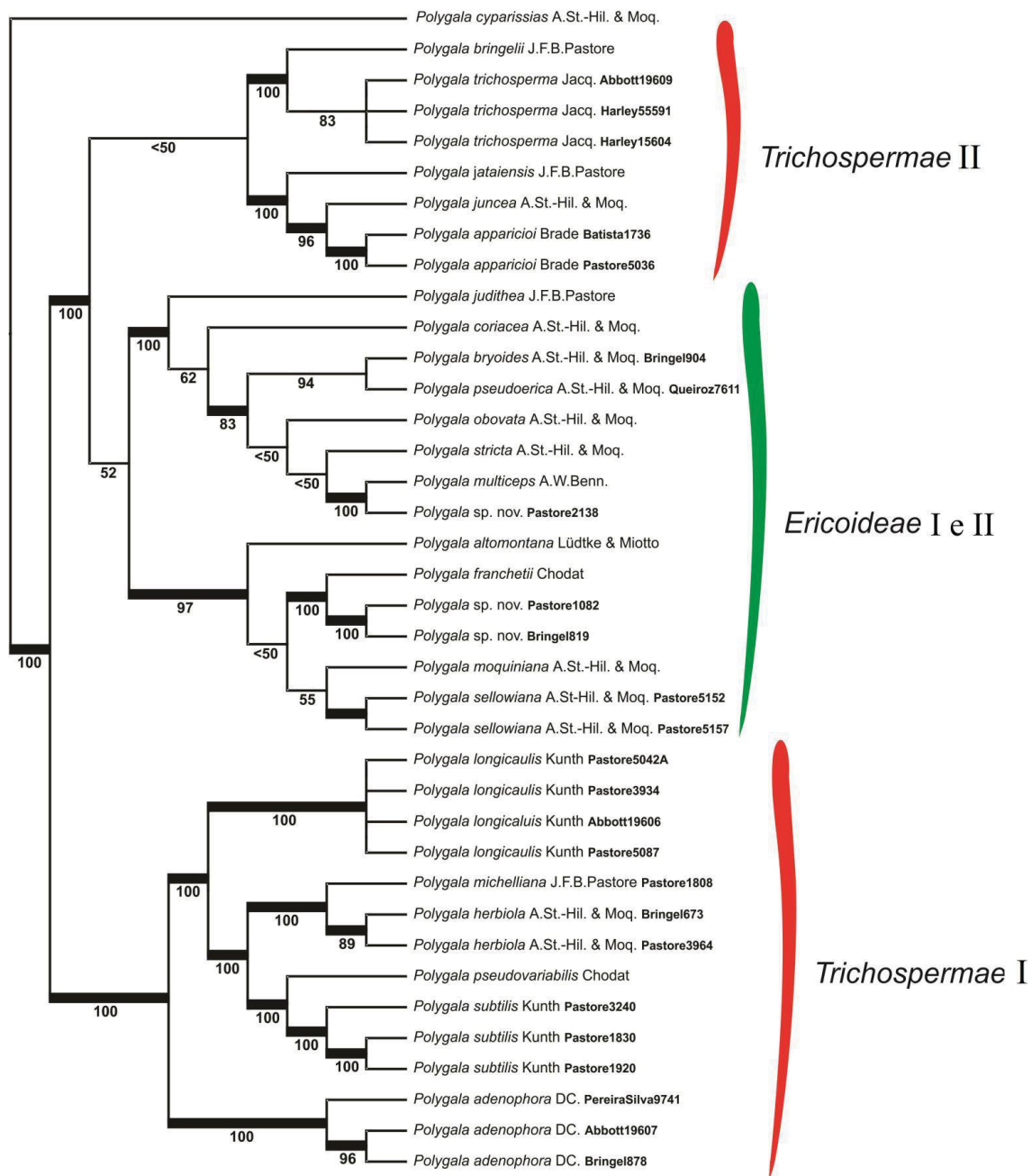
**Figura 4.** Morfologia do gineceu das espécies de *Polygala* série *Trichospermae* (A-F, c'-l') e *Ericoideae* (G-b'). A) *Polygala* sp. nov. 'bringelii', B) *P. trichosperma*, C) *Polygala* sp. nov. 'jataiensis', D) *P. juncea*, E) *P. apparicioi*, F) *P. sanariapoana*, G) *P. judithea*, H) *P. coriacea*, I) *P. bryoides*, J) *P. pseudoerica*, L) *P. obovata*, M) *P. stricta*, N) *P. multiceps*, O) *P. paradisiaca*, P) *P. grazielae*, Q) *P. lycopodioides*, R) *Polygala* sp. nov.1, S) *P. altomontana*, T) *P. franchetii*, U) *P. moquiniana*, V) *P. sellowiana*, X) *P. cneorum*, Z) *P. regnelli*, a') *P. rígida*, b') *P. subverticillata*, c') *P. adenophora*, d') *P. longicaulis*, e') *Polygala* sp. nov. 'michelliana', f') *P. herbiola*, g') *P. pseudovariabilis*, h') *P. subtilis*, i') *P. saprophytica*, j') *P. savannarum*, l') *P. pseudosavannarum*. Escala 1mm



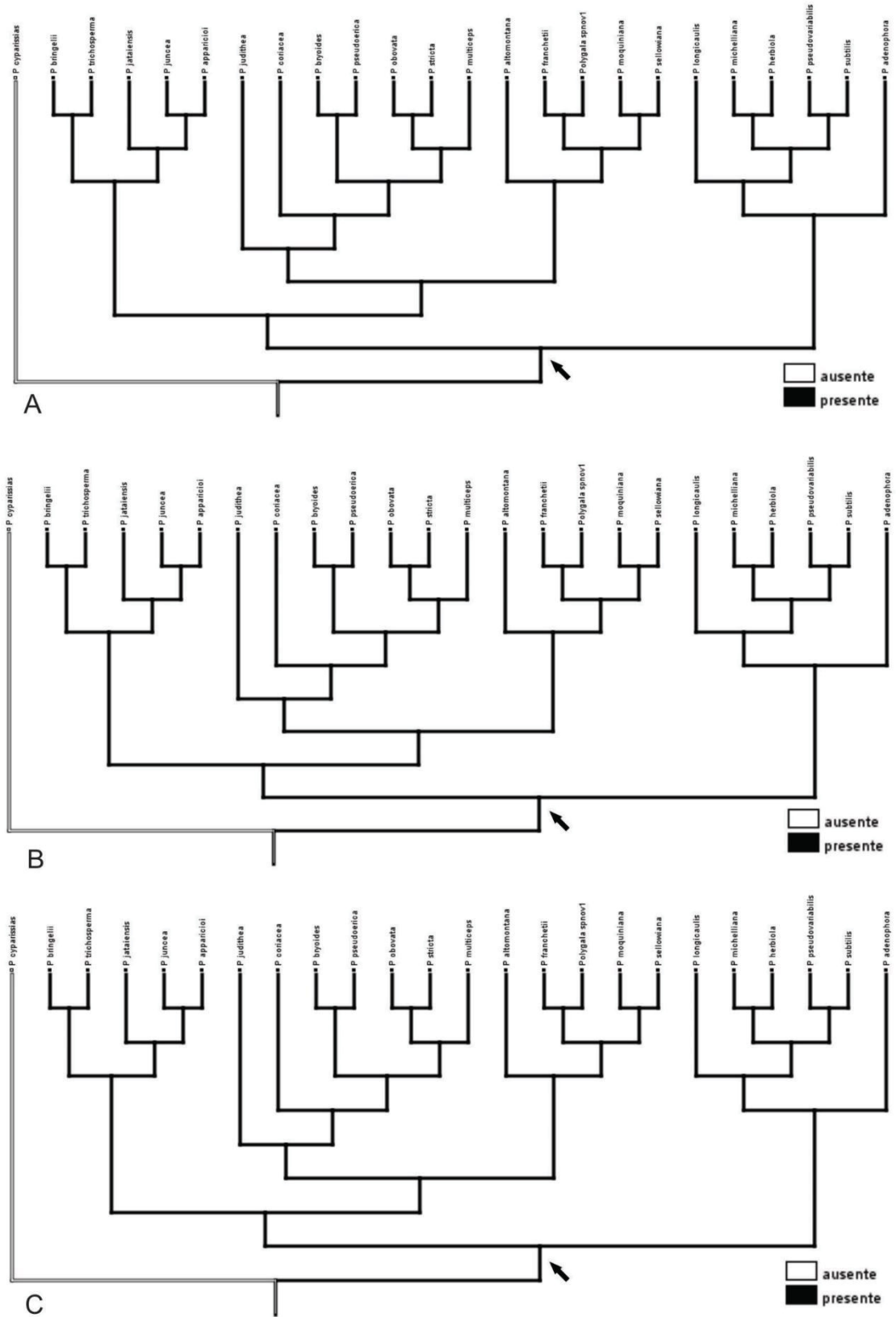
**Figura 5.** Morfologia da semente das espécies de *Polygala* série *Trichospermae* (A-F, X-g') e *Ericoideae* (G-V). A) *Polygala* sp. nov. 'bringelii', B) *P. trichosperma*, C) *Polygala* sp. nov. 'jataiensis', D) *P. juncea*, E) *P. apparicioi*, F) *P. sanariapoana*, G) *P. judithea*, H) *P. coriacea*, I) *P. bryoides*, J) *P. pseudoerica*, L) *P. stricta*, M) *P. multiceps*, N) *P. paradisiaca*, O) *P. lycopodioides*, P) *P. altomontana*, Q) *P. franchetii*, R) *P. moquiniana*, S) *P. cneorum*, T) *P. rigida*, U) *Polygala* sp. nov. 2, V) *P. subverticillata*, X) *P. adenophora*, Z) *P. longicaulis*, a') *Polygala* sp. nov. 'michelliana', b') *P. herbiola*, c') *P. pseudovariabilis*, d') *P. subtilis*, e') *P. saprophytica*, f') *P. savannarum*, g') *P. pseudosavannarum*. Escala 1mm, 2mm (d')



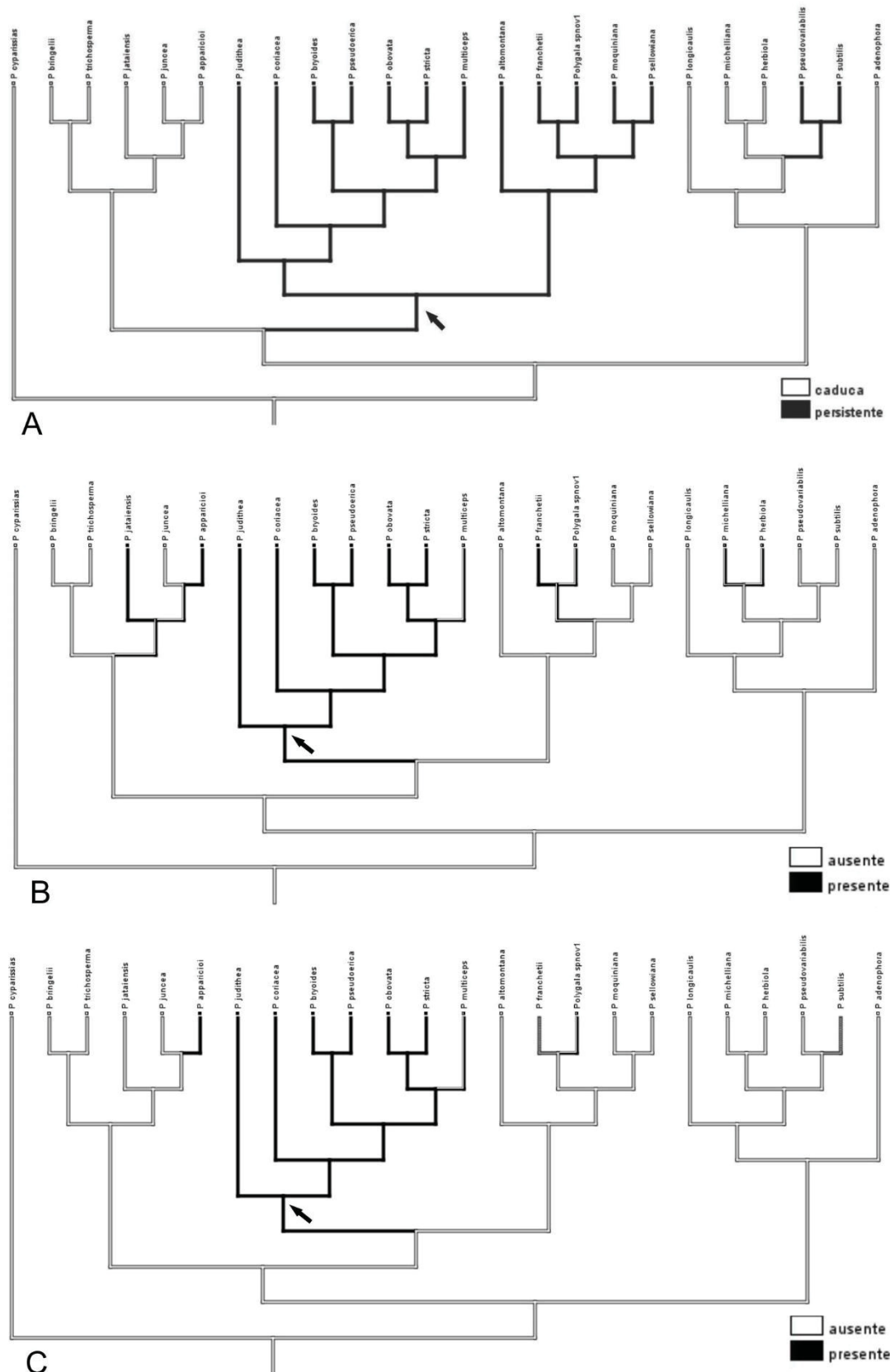
**Figura 6.** Microscopia Eletrônica de Varredura da semente. A e B) *P. altomontana*, C e D) *P. bryoides*, E e F) *P. pseudovariabilis*, G e H) *P. rigida*, I e J) *P. apparicioi*, L e M) *P. regnelli*, N e O) *P. saprophytica*, P e Q) *P. subtilis*, Escala 500µm (A, C, E, G, I, L, N e P), 50µm (B, D, F, H, J, M, O e Q), 10µm (detalhe), 200µm (N e P)



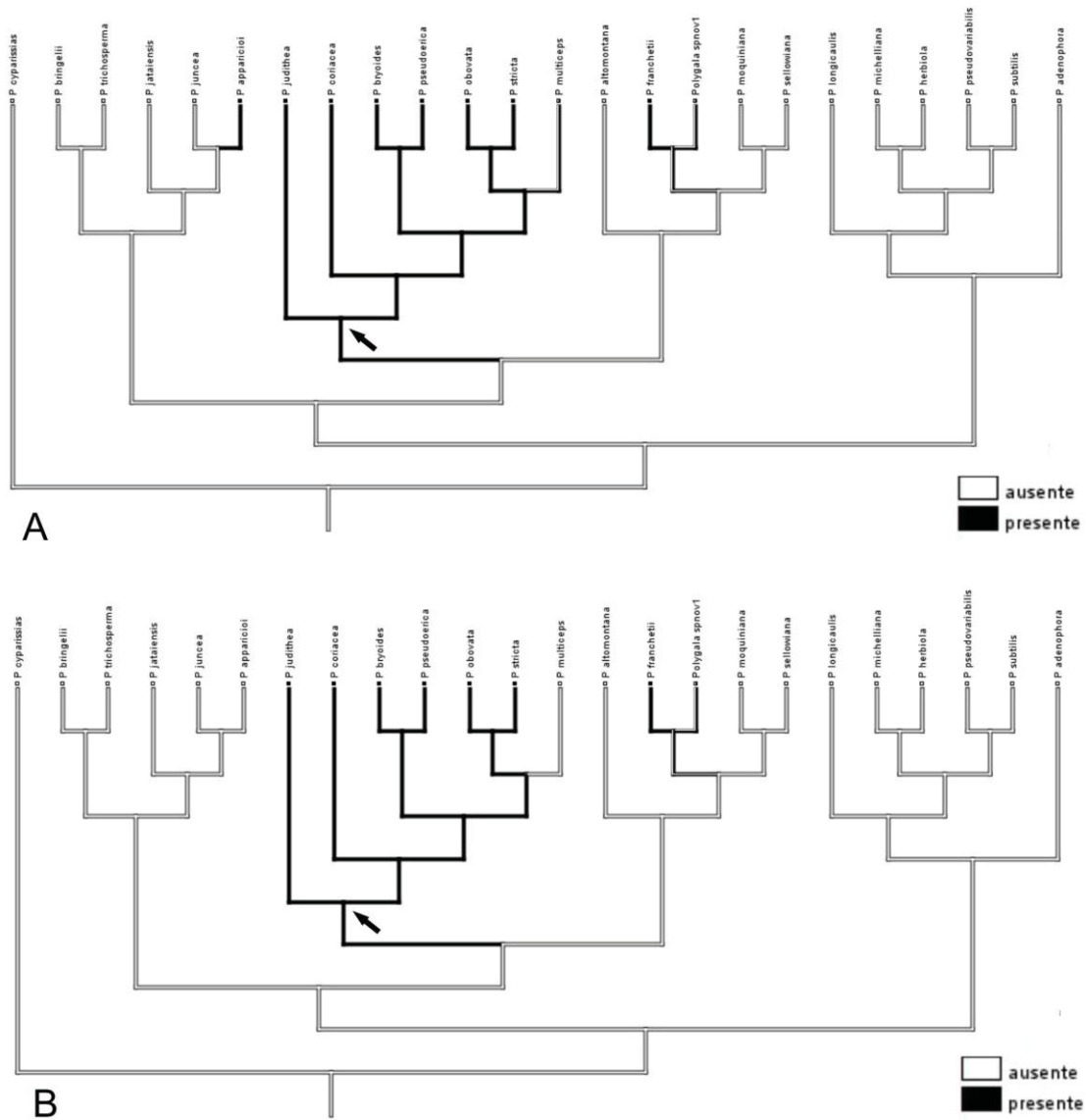
**Figura 7.** Filogenia do clado Trichospermae (séries Trichospermae + Ericoideae). Dados abaixo dos ramos são suporte de *bootstrap* parcimônia. As séries são indicadas na frente dos cladogramas.



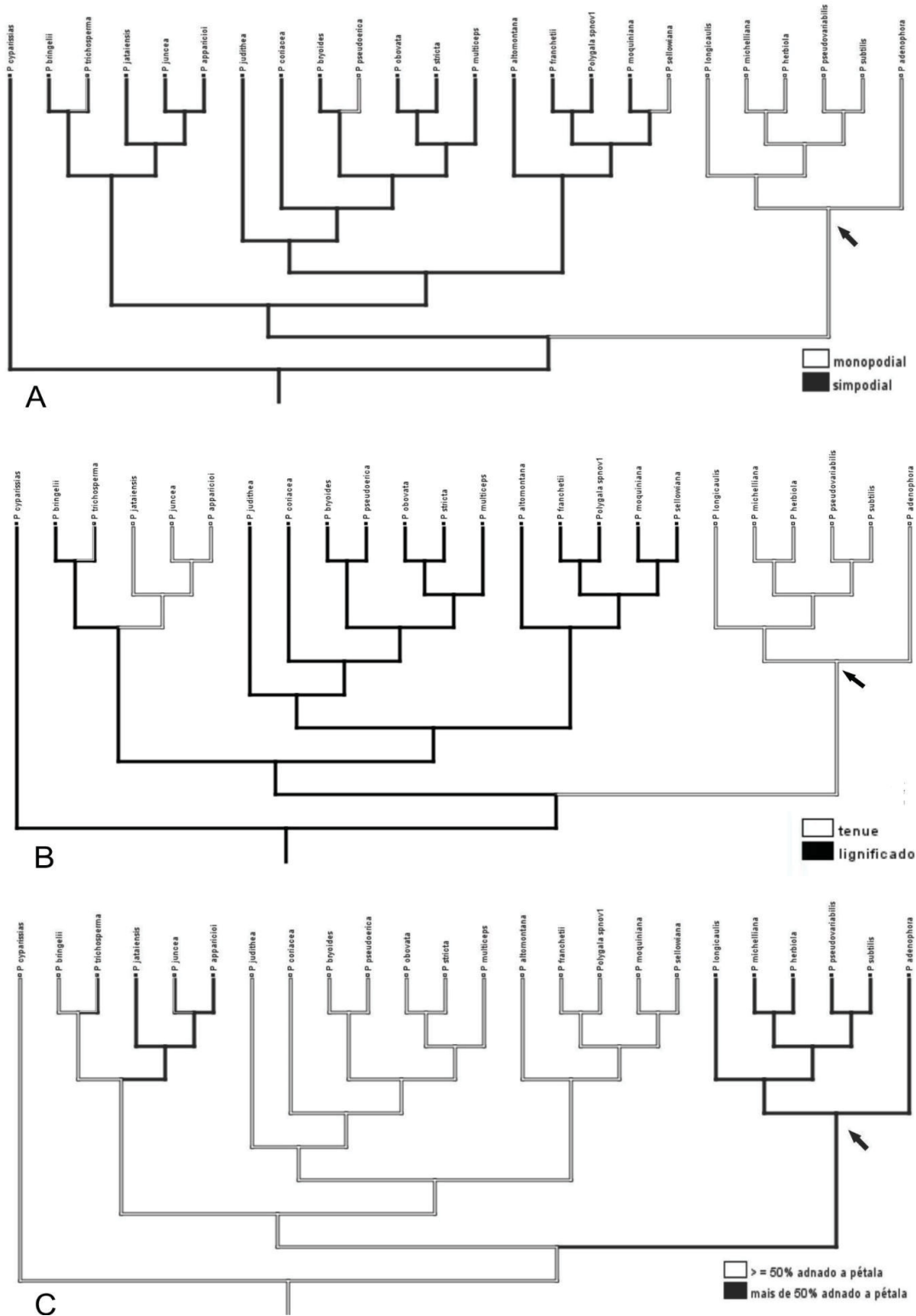
**Figura 8.** Otimização dos estados de caracteres na árvore de consenso estrito. A seta aponta no ramo o clado ‘Trichospermae’. A) presença de glândulas amarelas nas sépalas superiores externas (caractere 8), B) presença de glândulas amarelas na sépala inferior externa (caractere 10), C) cavidade pré-estigmática em forma de foice (caractere 19).



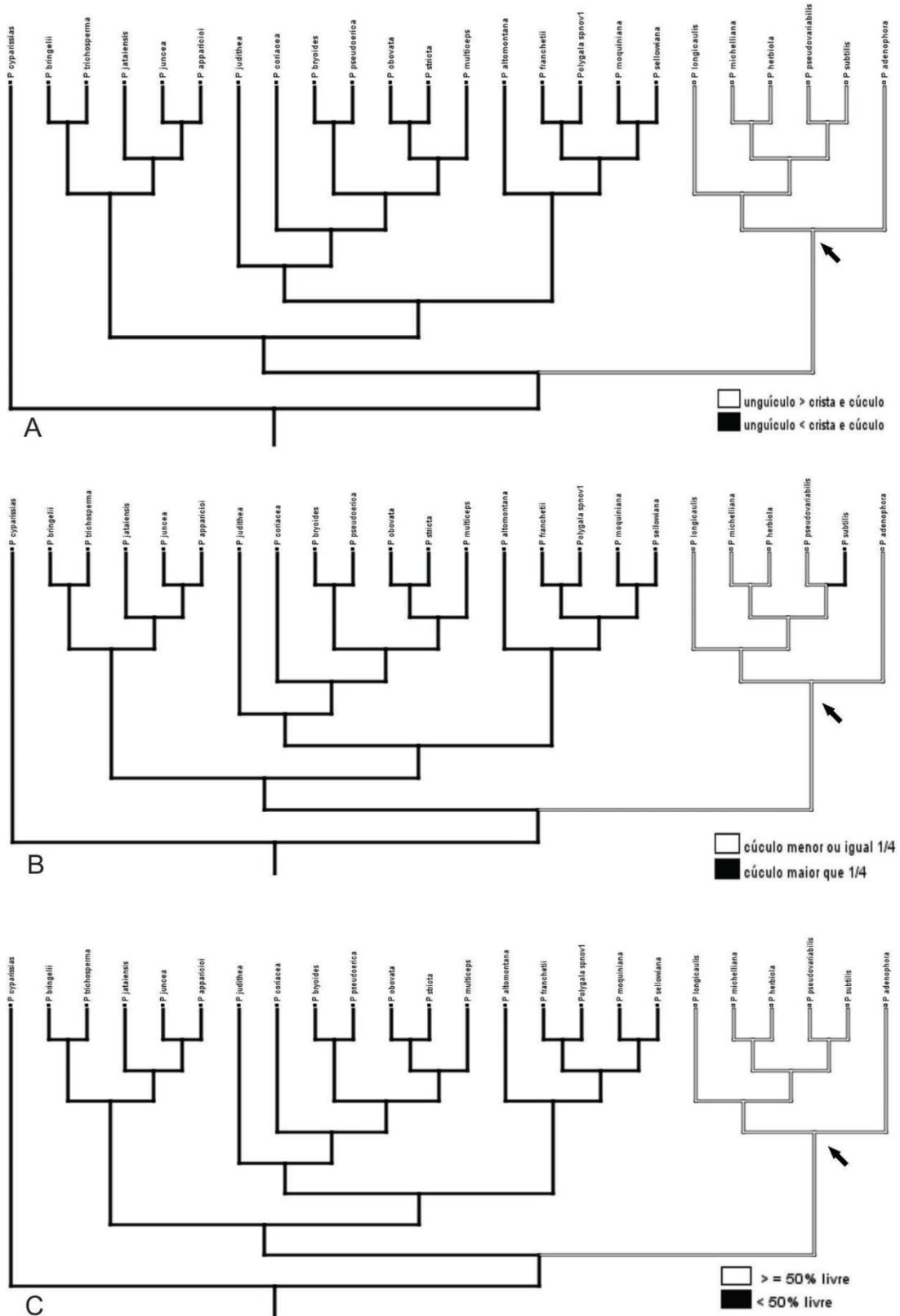
**Figura 9.** Otimização dos estados de caracteres na árvore de consenso estrito. A seta aponta no ramo os cladus internos. A) corola, persistência no fruto (caractere 11), B) bráctea, bordo ciliado (caractere 4), C) bracteóla, bordo ciliado (caractere 5).



**Figura 10.** Otimização dos estados de caracteres na árvore de consenso estrito. A seta aponta no ramo os cladus internos. A) sépala superior externa, bordo ciliado (caractere 7), B) sépala inferior externa, bordo ciliado (caractere 9).



**Figura 11.** Otimização dos estados de caracteres na árvore de consenso estrito. A seta aponta no ramo os cladus internos. A) hábito, ramo partindo da base (caractere 2), B) caule (caractere 3), C) adnação do androceu as pétalas (caractere 18).



**Figura 12.** Otimização dos estados de caracteres na árvore de consenso estrito. A seta aponta no ramo os clados internos. A) carena, proporção do unguículo (caractere 14), B) proporção do cículo em relação a carena (caractere 15), C) proporção da pétala sem adnação (caractere 16).

Tabela 1. Lista de espécies de *Polygala* estudadas com as informações da série e voucher.

<b>Espécies</b>	<b>Série</b>	<b>Voucher</b>
<i>Polygala cyparissias</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Australes</i>	S.S. Flaviano 17 – UPCB 93991
<i>P. adenophora</i> DC.	<i>Trichospermae</i>	N.F.O. Motta et al. 3222 – CTBS 3413 G. Pereira-Silva 14709 – CEN 99928
<i>P. altomontana</i> Ludtke, Boldrini & Miotto	<i>Ericoideae</i>	J.F.B. Pastore et al. 5057 – CTBS 499
<i>P. apparicioi</i> Brade	<i>Trichospermae</i>	J.F.B. Pastore 5036 – CTBS 657
<i>P. bryoides</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	G. Hatschbach et al. 66336 – CTBS 2585 M.A. Farinaccio et al. 96 – CTBS 627 L. Menini-Neto et al. 877 – CTBS 1474 D.S. Santiago et al. 180 – CTBS 1476
<i>P. cneorum</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	R. Mello-Silva et al. 4056 – CTBS 3703
<i>P. coriacea</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	H. Moreira 2012 – CTBS 1182 B.M.T. Walter 4640 – CEN 40371 G. Pereira-Silva 16854 – CEN 101575 R. Romero 2951 – CEN 49285 R. Romero 1515 – CEN 49281 G. Pereira-Silva 5613 – CEN 43900
<i>P. franchetii</i> Chodat	<i>Ericoideae</i>	J.F.B. Pastore 1215 – CEN 56059 J.B.A. Bringel 260 – CEN 63361
<i>P. grazielae</i> Marques	<i>Ericoideae</i>	E. Barbosa et al. 2039 – CTBS 2487
<i>P. herbiola</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Trichospermae</i>	R. Romero 4239 – CEN 49257 J.A.N. Batista 1569 – CEN 62134 J.F.B. Pastore 998 – CEN 54719
<i>P. judithea</i> J. F. B. Pastore	<i>Ericoideae</i>	G. Hatschbach et al. 36334 – CTBS 2517
<i>P. juncea</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Trichospermae</i>	R.L. Volpi et al. 404 – CTBS 1918 R. Romero 4598 – CEN 49312
<i>P. longicaulis</i> Kunth	<i>Trichospermae</i>	J.F.B. Pastore 5087 – CTBS 374 J.F.B. Pastore et al. 5529 – CTBS 4139
<i>P. lycopodioides</i> Chodat	<i>Ericoideae</i>	J.F.B. Pastore et al. 5236 – CTBS 3210 B.R. Martins et al. 14 – CTBS 3135
<i>P. moquiniana</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	J. Cordeiro 2983 – CTBS 2633 J.F.B. Pastore et al. 5290 – CTBS 2679
<i>P. multiceps</i> Mart. Ex A. W. Benn	<i>Ericoideae</i>	G. Hatschbach et al. 66431 – CTBS 2584 J.E.Q. Faria 5940 – CTBS 2752 M.C.M. Marques 437 – RB 401325
<i>P. obovata</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	A. Schinini 7317 – RB 169788
<i>P. pseudoerica</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	J.F.B. Pastore et al. 4100 – CTBS 3107

<i>P. pseudovariabilis</i> Chodat	<i>Trichospermae</i>	R.C. Forzza 8577 – RB 647066 A. Amaral-Santos 2379 – CEN 55285 J.F.B. Pastore 2491 – CEN 69289
<i>P. regnellii</i> Chodat	<i>Ericoideae</i>	53259 R 53224 R
<i>P. rigida</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	N.M. Castro et al. 208 – CTBS 1696 D.I. Junqueira et al. 588 – CTBS 1278
<i>P. sanariapoana</i> Steyerf.	<i>Trichospermae</i>	A. Gröger 812 – RB 370333
<i>P. saprophytica</i> Chodat ex Grondona	<i>Trichospermae</i>	B.M.T. Walter 3066 – RB 436040
<i>P. savannarum</i> Chodat	<i>Trichospermae</i>	A. Gröger 923 – RB 370334
<i>P. sellowiana</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	J.M. Silva et al. 7368 – CTBS 2499 J. Cordeiro 2144 – RB 469814
<i>P. stricta</i> A. St.-Hil & Moq.	<i>Ericoideae</i>	J.F.B. Pastore 4089 – CTBS 3094
<i>P. subtilis</i> Kunth	<i>Trichospermae</i>	A.A.A. Barbosa 3242 – CTBS 1785
<i>P. subverticillata</i> Chodat	<i>Ericoideae</i>	E. Barbosa et al. 319 – CTBS 2545
<i>P. trichosperma</i> Jacq.	<i>Trichospermae</i>	A.A. Roque et al. 1552 – CTBS 1515 G. Hatschbach et al. 67904 – CTBS 2561 G. Martinelli 18132 – RB 584102
<b>Espécies inéditas</b>		
<i>Polygala</i> sp. nov. 'bringelii'		J.M. Silva et al. 6869 – CTBS 2533
<i>Polygala</i> sp. nov. 'jataiensis'		J.F.B. Pastore 2349 – HUEFS 129750
<i>Polygala</i> sp. nov. 'michelliana'		J.F.B. Pastore et al. 5562 – CTBS 4171 B.M.T. Walter 675 – CEN 13518 J.F.B. Pastore 1808 – CEN 64881
<i>Polygala</i> sp. nov. 1		J.F.B. Pastore et al. 4061 – CTBS 3097 L.M. Borges et al. 739 – CTBS 3721
<i>Polygala</i> sp. nov. 2		G. Hatschbach et al. 73612 – CTBS 2498

Tabela 2. Lista de caracteres morfológicos e seus estados das espécies de *Polygala*.

1. Hábito: (0) ereto, (1) decumbente
2. Hábito, ramos partindo da base: (0) monopodial, (1) simpodial
3. Caule: (0) tenue, (1) lignificado
4. Bráctea, bordo ciliado: (0) ausente, (1) presente
5. Bracteola, bordo ciliado: (0) ausente, (1) presente
6. Pedicelo, proporção do comprimento: (0) até 1/3 o tamanho da flor, (1) mais que 1/3 o tamanho da flor
7. Flor, sépala superior externa, bordo ciliado: (0) ausente, (1) presente
8. Flor, sépala superior externa, glândulas amareladas: (0) ausente, (1) presente
9. Flor, sépala inferior externa, bordo ciliado: (0) ausente, (1) presente

10. Flor, sépala inferior externa, glândulas amareladas: (0) ausente, (1) presente
11. Flor, corola, persistência no fruto: (0) caduca, (1) persistente
12. Flor, carena, forma do cúculo: (0) comprimento > largura, (1) comprimento  $\leq$  largura
13. Flor, carena, proporção da crista em relação ao cúculo: (0) crista  $\geq$  cúculo, (1) crista < cúculo
14. Flor, carena, proporção do unguículo: (0) unguículo > crista e cúculo, (1) unguículo < crista e cúculo
15. Flor, carena, proporção do cúculo em relação a carena: (0) cúculo  $\leq$   $\frac{1}{4}$  da carena, (1) cúculo >  $\frac{1}{4}$  da carena
16. Flor, pétala, proporção da região livre sem adnação: (0)  $\geq$  50% livre, (1) < 50% livre
17. Flor, pétala, face interna ciliada: (0) ausente, (1) presente
18. Flor, androceu: (0)  $\geq$  50% adnado a pétala, (1) < 50% adnado a pétala
19. Flor, gineceu, cavidade pré-estigmática forma de foice: (0) ausente, (1) presente

Tabela 3. Matriz de caracteres morfológicos floral de *Polygala* usado na otimização com a árvore consenso estrito.

Espécies / Caractere	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>P. cyparissias</i>	0&1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>P. bringelii</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1
<i>P. trichosperma</i>	0	0&1	0&1	0	0	0	0	1	0	1	0	0&1	0	1	1	1	0	0&1	1
<i>P. jataiensis</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
<i>P. juncea</i>	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0&1	1	1	1	0	0&1	1
<i>P. apparicioi</i>	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
<i>P. judithea</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. coriacea</i>	0	1	1	1	1	0&1	1	1	1	1	1	0	0&1	1	1	1	0	0	1
<i>P. bryoides</i>	0&1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. pseudoerica</i>	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. obovata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
<i>P. stricta</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. multiceps</i>	1	1	1	0&1	0&1	1	0&1	1	0	1	1	0&1	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. altomontana</i>	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
<i>P. sellowiana</i>	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0&1	0&1	1	1	1	0	0	1
<i>P. moquiniana</i>	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
<i>Polygala</i> sp. nov. 1	0	1	1	0&1	0&1	0&1	0&1	1	0&1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
<i>P. franchetii</i>	0	1	1	1	?	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>P. longicaulis</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>P. pseudovariabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>P. subtilis</i>	0	0	0	0	?	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
<i>P. herbiola</i>	0	0	0	0&1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>P. michelliana</i>	0	0	0	0&1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>P. adenophora</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1

**CAPÍTULO II - *Polygala petrophila* (Polygalaceae: subg. *Polygala*: ser. *Ericoideae*),  
a new species of *Polygala* from Minas Gerais, Brazil**

(Submetido á Edinburgh Journal of Botany)

*José Floriano Barêa Pastore*<sup>1,5</sup> *Sthaylanny Silveira Flaviano*<sup>2</sup> *Marco Otávio Dias Pivari*<sup>3</sup> *Erika Amano*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Herbarium CTBS. Universidade Federal de Santa Catarina, *campus* de Curitibanos, Rodovia Ulisses Gaboardi, km 3, Curitibanos, Santa Catarina, Brazil; jfpastore@hotmail.com

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal do Paraná, Av. Francisco Heráclito dos Santos s.n., Campus do Centro Politécnico, 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil.

<sup>3</sup>Bioma Meio Ambiente. Alameda do Ingá, 840, 10º Andar, Vale do Sereno, Nova Lima, Minas Gerais, Brazil.

<sup>4</sup>Departamento de Botânica. Universidade Federal do Paraná, Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100, Curitiba, Paraná, Brazil

<sup>5</sup>Author for correspondence

PASTORE ET AL.: A NEW SPECIES OF *POLYGALA* FROM MINAS GERAIS, BRAZIL

**Abstract**— *Polygala petrophila*, a new species from the Brazilian savanna of Serra da Moeda, Minas Gerais, is here described. The diagnostic characters distinguishing the new species from its closest relatives are described and discussed. Its conservation status, distribution map, illustrations, including photos of details of the floral parts and their comparison with those of the allied species, are provided.

**Keywords**—Brazilian flora, *Campo rupestre*, Cerrado, *Ericoideae*, Taxonomy

## Introduction

*Polygala* L. (Polygalaceae), the most numerous genus in the family, with ca. 580 species (Pastore, 2018) of herbs to subshrubs, is represented in Brazil by 107 species (of the sections *Clinclinia* DC. and *Timutua* DC.), occurring in all of its biomes, but mostly in the savanna regions. Most species of *Polygala* in Brazil belong to the section *Timutua*, which is divided in a number of series. Members of the series *Ericoideae*, closely related to ser. *Trichospermae* (Pastore *et al.*, in press), are characterized by short racemes, small yellow spots on the floral parts, an often elongated style, and xylopodia (Marques, 1988). Here we present a new species of *Polygala* sect. *Timutua* ser. *Ericoideae*. The new species is described and illustrated by photos, including those of details of the floral parts and their comparison with the allied species.

### ***Polygala* L. sect. *Timutua* DC. ser. *Ericoideae* Chodat**

The series *Ericoideae* consists of 17 species, all endemic to Brazil, except *P. obovata* A.St.-Hil. & Moq. and *P. regnellii* Chodat also found in Paraguay and Bolivia, respectively. They occur in rocky to savanic vegetation, often adapted to seasonal fires.

#### TAXONOMIC TREATMENT

***Polygala petrophila*** J.F.B.Pastore, sp. nov. TYPE. Brazil, Minas Gerais, Brumadinho, Fazenda Cachoeira, 20°05'49"S, 44°01'19"W, 1158 m alt., 29 Jan. 2018, *Paiva, J.A.M., Souza, J.A.M. & Silva, S.H.A. 1632* (holotype: CTBS[3948]!, isotype BHCB!).

**Erect subshrub** 20–35 cm tall, roots rigid, few to many stems arising from the base, branching from the base, with few branched at the apex, cylindrical, striated, densely puberulous, trichomes short-clavate, stems green, without yellowish glands forming spots. Leaves all alternate, sessile, chartaceous, lamina (8–)11–14 × (0.8–)1.1–1.9 mm, linear to linear-elliptical, apex acute, margin revolute, base acute, densely covered

by short glandular trichomes. **Racemes** congested 0.8–1.2 × 0.9–1.1 cm, 4.5 cm with fruits fallen; bracts ca. 1 × 0.7 mm, lanceolate, apex acute, ciliate, trichomes glandular, with one or two yellowish spots at the base, deciduous before opening of flowers, ca. 1.1 times longer than bracteoles; bracteoles lanceolate, ciliate, trichomes glandular; pedicel 3.3–3.4 mm, puberulous, trichomes glandular. **Flowers** yellowish, 4.4–5.1 mm long (without pedicel); outer sepals ciliate, trichomes glandular, with yellow spots along the central vein; lower outer sepals 1.7–1.8 × 0.8 mm, ovate, apex acute; upper outer sepals 2.2 × 1.1 mm, elliptic, apex acute; inner sepals (wings) 3.6 × 1.7 mm, elliptic, apex acute, margins sparsely ciliate at base, longer than mature fruits, with yellow spots along the central vein; lateral petals 3.1 × 1 mm, with one yellow spot; keel ca. 3.4–3.6 mm long, cristate, with yellow spots around the dorsal central vein, persistent in mature fruits; crest 4–6-lobed; central lobes ca. 1 mm, not lobed to apex; style ca. 1 mm, inclined, terminated by an oblique cymbiform pre-stigmatic cavity, posterior extremity with a conspicuously crested appendage with abundant trichomes and an anterior globose stigma. **Capsules** 3.2 × 1.7–1.8 mm, sub-elliptical, with several yellow spots close to the central nerve, style caducous in fruit; seeds c. 2.1–2.2 × 0.8 mm, subconical, pubescent, trichomes 0.3 mm, with caruncular appendages 1 × 0.3 mm to ca. 1/3 of the seed length. (Figs 1-2)

*Additional Specimens Examined*— Brazil. Minas Gerais, Brumadinho, Serra da calçada, Retiro das Pedras. -20.093056 S -43.983611 W, 1400m, 11 Oct. 2001, *Viana, P.L.* 304 (BHCB); Serra da Moeda, 20°06'54"S 43°59'29"W, 1417m alt., 07 Nov. 2107, *Souza, J.A.M., Correia, D.R. & Silva, S.H.A.* 144 (BHCB); Serra da Moeda, 20 Feb. 1990, *Porto-Paula, L.M. & Grandi, T.S.M.* 886 (BHZB, CTBS);

**Diagnosis** — *Polygala petrophila* by its the yellowish flowers in short racemes and linear leaves resembles *P. rigida*. However, it may be easily distinguished by the chartaceous (vs. leather-like in *P. rigida*) leaves, flower parts generally smaller and distinct (see Fig. 3), bracts little longer than bracteoles (vs. more than twice longer in *P. rigida*), internal sepals with a number of yellow spots close to the central nerve (vs. without yellow spots in *P. rigida*), base of the style almost  $\frac{1}{2}$  of its length (vs. very short base, less than  $\frac{1}{5}$  of the style length in *P. rigida*), keel with a few yellow spots close to the central vein (dorsally) and short crest lobes, the central lobe ca. 1 mm long (vs. keel with several yellow spots close to the central vein (dorsally) and long crest lobes, the central lobe ca. 2 long in *P. rigida*).

**Distribution and habitat**—The new species was collected on Serra da Moeda in the municipality of Brumadinho, Minas Gerais, near the Casa Branca District in the western part of Brumadinho, close to the municipality of Nova Lima (Map 1). *Polygala petrophila* occur in the *campo rupestre* vegetation, on sandy soils.

**Conservation status**—With the EOO of 4 km<sup>2</sup> and the AOO of 12 km<sup>2</sup>, the IUCN assessment according to the criteria B: B1 and B2 a, b(iii) is Critically Endangered (CR). The only known specimens were collected within or near the area of Serra da Moeda. Two of these specimens were collected in legal reserve area. *Polygala petrophila* also falls within the criterion b-III of the IUCN (2014), as the region suffers from mining activity disturbances and from urban sprawl.

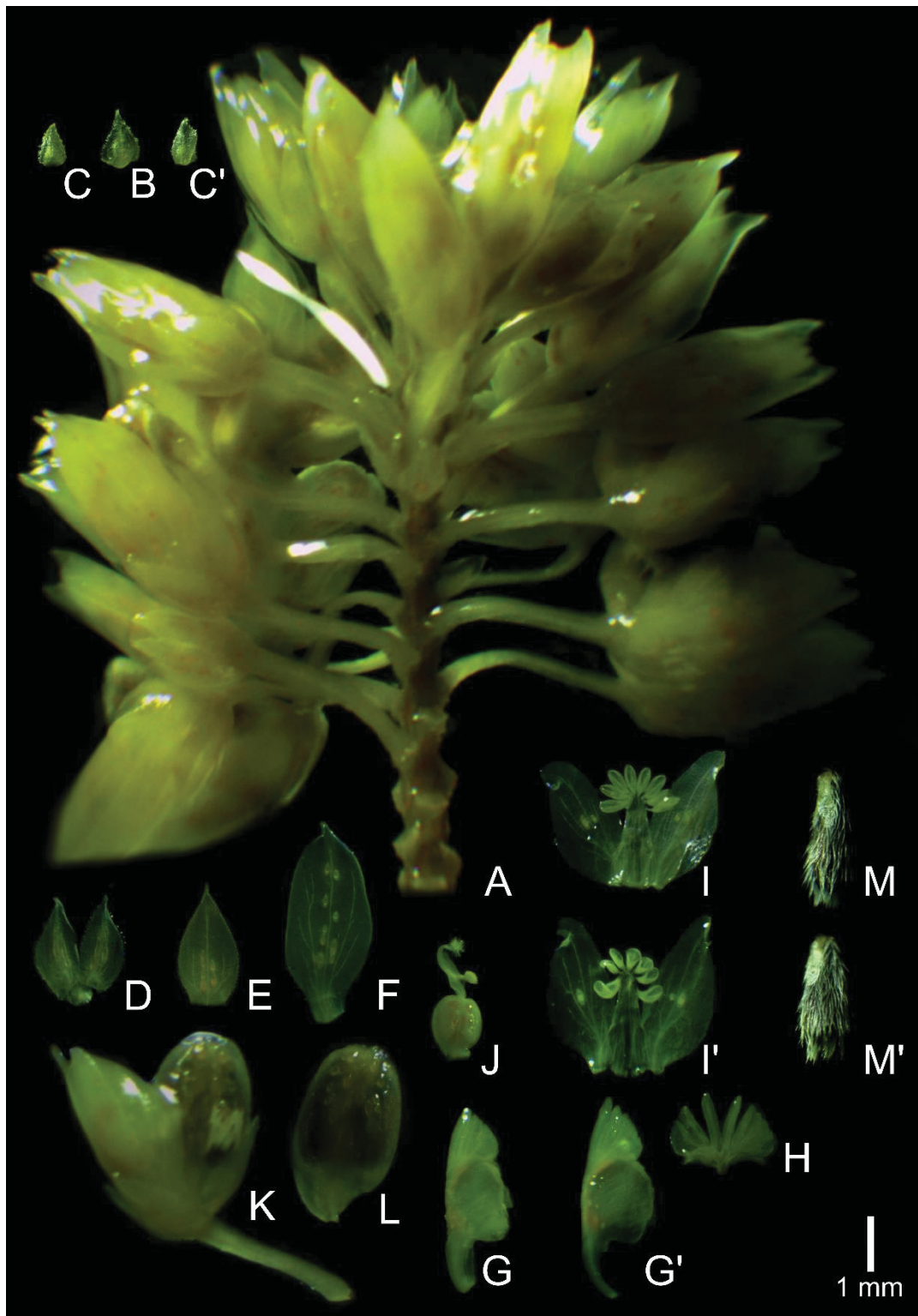
**Etymology** —The epithet of *Polygala petrophila* refers to its preference for rocky habitat.

## ACKNOWLEDGMENTS

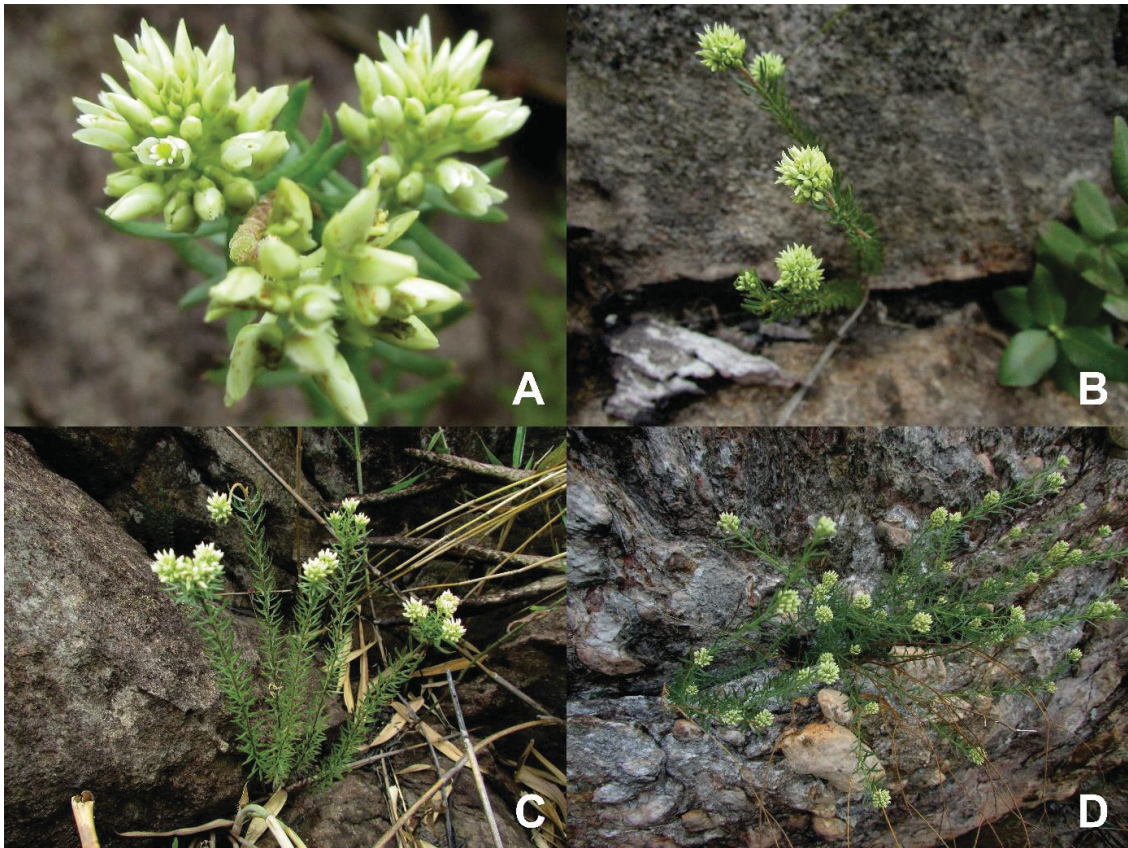
The authors are grateful to the curatorial staff of the Herbário da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB) for providing access to their collections; to Michelle Mota for preparing the distribution map; to Vale S.A. for granting access to her particular areas for collections and for funding the research that originated such records. JFBP gratefully acknowledges funding for a research fellowship (302452/2017-6) from the CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

## LITERATURE CITED

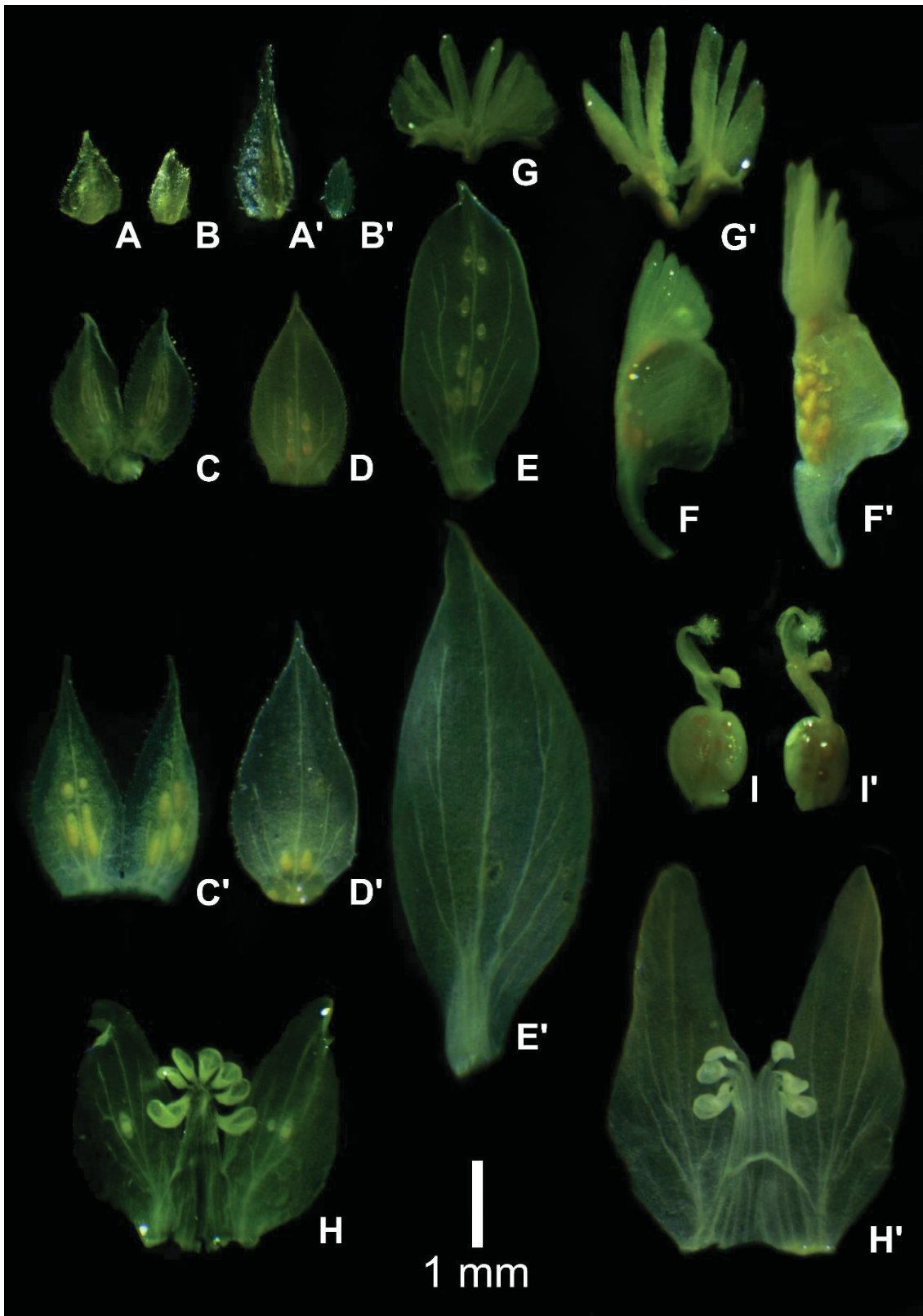
- IUCN. (2012). IUCN red list categories and criteria, version 3.1. 2nd edition, Gland, Switzerland and Cambridge. UK: IUCN.
- MARQUES, M.C.M. (1988). Polígalas do Brasil – V. Seção *Polygala* (Polygalaceae). *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* 29: 1-114.
- PASTORE, J.F.B. (2018). *Polygala veadeiroensis* (Polygalaceae), a new species of *Polygala* endemic to Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. *Kew Bulletin* 73: 37-39.
- PASTORE, J.F.B., ABBOTT, J.R., NEUBIG, K., van den BERG, C., MOTA, M.C.A., CABRAL, A. & WHITTEN, M. (*in press*). The phylogeny and biogeography of *Polygala* (Polygalaceae). *Taxon*.



**FIGURE 1.** *Polygala petrophila* J.F.B.Pastore: A raceme; B bract; C and C' bracteoles; D two superior outer sepals; E inferior outer sepal; F one of the two inner sepals (wings); G and G' keel; H opened crest; I and I' androecium and lateral petals; J gynoecium; K fruiting calyx; L capsule; M and M' seed [scale bar = 1mm]. All from *Paiva et al. 1632* (CTBS). Photos by J. Floriano B. Pastore.



**FIGURE 2.** *Polygala petrophila* J.F.B.Pastore: A flowers and racemes; C–D plant and habitat. Photos A–C by Souza et al. 144 (CTBS); D by Paiva et al. 1632 (CTBS).



**FIGURE 3.** Comparison of floral details of *P. petrophila* J.F.B.Pastore and *P. rigida* A.St.-Hil. & Moq.: A and A' bract; B and B' bracteole; C and C' two superior outer sepals; D and D' inferior outer sepal; E and E' one of the two inner sepals (wings); F and F' keel; G and G' opened crest; H and H' androecium and lateral petals; I and I' gynoecium A–I *P. petrophila* (Paiva et al. 1632, CTBS); A'–I' *Polygala rigida* (Oliveira et al. 6161 CTBS); [scale bar = 1mm]. Photos by J. Floriano B. Pastore.



**CAPÍTULO III – Estrutura e secreção das ‘glândulas cróceas’ em *Polygala*  
(Polygalaceae)**

(A ser submetido à Acta Botanica Brasilica)

**RESUMO**

*Polygala* é o maior gênero de Polygalaceae, cuja algumas espécies apresentam uma estrutura amarelada nas peças florais, descritas como ‘glândula crócea’, ainda que não se saiba se são glândulas. Os estudos morfológicos florais são insipientes e não investigaram tais estruturas. Assim, flores foram processadas para microscopia de luz, fluorescência, eletrônica de varredura e transmissão e aplicação de testes histoquímicos. A cavidade secretora é visível nas brácteas (ápice da inflorescência) antes da formação do botão floral. O desenvolvimento floral é acompanhado da diferenciação da cavidade, sendo visível primeiro nas peças externas, seguido das peças internas. A última peça a desenvolver a cavidade é o ovário. A diferenciação da cavidade é iniciada por divisões celulares, seguido por uma formação esquizogênica. Nesse estágio as células da cavidade têm citoplasma denso com muitas organelas envolvidas na síntese de substância. Esta é produzida em vesículas, sendo secretada e armazenada no lúmen da cavidade. Não foi observado nenhuma abertura para exsudação da substância. As cavidades nas flores de *Polygala* são secretoras de resina. A cavidade resinífera possivelmente atua na proteção da flor contra herbivoria e auxilia na cicatrização de lesões. Desta forma, estudos ecológicos que avaliem a interação planta-animal-planta em relação a estrutura glandular é recomendado.

**Palavras-chave:** cavidade secretora, histoquímica, flor, *Polygala*, resina

#### 4.1 INTRODUÇÃO

*Polygala* L., (ca. 583 spp.) é o maior gênero de Polygalaceae com cerca de 50% das espécies, distribuídas em todos os continentes, exceto em algumas regiões áridas e/ou gélidas do mundo (Abbott 2009; Pastore comm. pess.). No Brasil, *Polygala* está representada em todos os biomas, sendo mais comum em campo de afloramentos rochosos de grandes altitudes (Flora do Brasil 2019). O gênero é reconhecido pelo seguinte conjunto de caracteres: racemo simples, flores papilionóides com carena cristada e sépalas persistentes no fruto (Pastore & Silveira 2016).

No Novo Mundo, *Polygala* é representada por um grande número de espécies (ca. 200 espécies) que foram agrupadas em seções e séries (ver Chodat 1893; Marques 1988). Algumas espécies do Novo Mundo (de diferentes séries da seção *Timutua* DC.) possuem uma estrutura amarelada distinta, presente nas peças florais, frutos e, às vezes, nas estruturas vegetativas (Lüdtke *et al.* 2013; Pastore 2018). Essas estruturas foram descritas precocemente por Saint-Hilaire & Moquin (1828), que mencionou estruturas arredondadas e amareladas como glândulas em algumas espécies brasileiras de *Polygala*. Posteriormente, Chodat (1893), na única monografia completa do gênero, descreveu essas estruturas como '*croceo-maculata*' ou '*glandulosae*'. Desde então, essas estruturas amareladas têm sido descritas como 'glândulas crócea/amareladas' ou 'pontos amarelados' (ver Marques 1988; Marque & Pastore 2006; Pastore 2018; Lüdtke *et al.* 2008; Ferreira *et al.* 2017). Apesar de ser amplamente descrita não se sabe se a estrutura é realmente uma glândula.

Os estudos morfológicos florais do gênero ainda estão restritos às informações de nove espécies sobre o desenvolvimento e vascularização floral para a compreensão taxonômica do grupo (Milby 1976; Eriksen 1993; Prenner 2004). As estruturas denominadas "*croceo-maculata*" citadas por Chodat (1893) são ilustradas nas seções

dos verticilos florais por Milby (1976), mas não há menção sobre isso ao longo deste estudo.

Estruturas glandulares são externas ou internas, formadas por um tecido secretor, sendo classificado de acordo com a substância sintetizada (Fahn 1988). A substância sintetizada pode ser exsudada ou armazenada em células especializadas ou em uma estrutura determinada (Fahn 1988). As principais estruturas secretoras florais estão associadas aos mecanismos de atração e recompensa de polinizadores (Fahn 2000), dentre as quais, nectários e osmóforos que sintetizam açúcares, polissacarídeos e lipídios (Fahn 1988). No entanto, excepcionalmente, estruturas secretoras também podem secretar resina em flores (Armbruster & Webster 1979; Mesquita e Franciscon 1995; Sa-Haiad *et al.* 2015). Primeiramente, a produção de resina nas flores, assim como nos órgãos vegetativos, é conhecida como mecanismo de defesa que impede a herbivoria (Armbruster 1997; Armbruster *et al.* 1997). Porém, a secreção de resina nas flores tornou-se também uma recompensa para o polinizador, como descrito para os membros das eudicotiledôneas: *Dalechampia* L. (Euphorbiaceae; Armbruster 1984) e *Clusia* L. (Clusiaceae; Armbruster 1984; Sá-Haiad *et al.* 2015) e monocotiledôneas: *Barbacenia* Vand., *Philodendron* Schott (Araceae; Gonçalves-Souza *et al.* 2018) e *Vellozia* Vand. (Velloziaceae; Sadala-Castilho *et al.* 2016).

As estruturas secretoras em órgãos vegetativos de *Polygala* foram analisadas e descritas como ductos de mucilagem no caule (Aguiar-Dias *et al.* 2011) e como cavidades secretoras foliares (Aguiar-Dias *et al.* 2012). Porém, estruturas secretoras florais e as substâncias sintetizadas ainda não foram analisadas em *Polygala*. As flores em *Polygala* têm cálice composto por cinco sépalas, três externas e duas internas, que são semelhantes a pétalas (asas). A corola tem três pétalas, uma carena e duas laterais (Bello-Gutierrez *et al.* 2010). As estruturas amareladas estão presentes em várias

espécies de *Polygala* seção *Timutua*, a maioria na carena, mas também eventualmente presente nas sépalas e ovário/fruto.

Portanto, apresentamos aqui um estudo para: (1) identificar se as estruturas amareladas são glândulas, (2) descrever a estrutura morfológica e seu desenvolvimento; e (3) caracterizar histoquimicamente a substância sintetizada.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Espécimes de *Polygala longicaulis* Kunth (Flaviano, S.S.28 – UPCB93990) e *Polygala moquiniana* A.St.-Hil & Moq. (Flaviano, S.S.29 – UPCB93992) foram coletadas no município de Palmeira – PR (Fig. 1 A). As amostras foram fixadas em solução Karnovsky (glutaraldeído 2.5% (v/v) / formaldeído 4% (v/v) em tampão fosfato (pH 7.4; 0,1M) Karnovsky 1965).

Flores foram processadas em Historesin Leica de acordo com as instruções do fabricante. Secções transversais e longitudinais foram feitas em micrótomo (Leica RM2145, Leica Microsystem) com navalha de vidro e coradas com Azul de Toluidina (O' Brien *et al.* 1964). Testes histoquímicos foram aplicados as secções em resina e a mão livre, com os respectivos controles (Tab. 1). As análises de microscopia de luz foram realizadas em microscópio Olympus BX41 e fluorescência em microscópio Olympus BX51 equipado com filtro UV.

Para análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), flores fixadas foram desidratadas em série etílica, submetidas a ponto crítico de CO<sub>2</sub> líquido (Bal-tec CPD030), fixada em stubs e metalizadas com ouro (Bal-tec SCD050). Análises e registros foram feitos com auxílio de microscópio eletrônico de varredura JEOL JMS 6360-LV. Para análises de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), as amostras fixadas, foram pós-fixadas em tetróxido de ósmio, desidratadas em série etílica e embebida em resina LR White. Secções ultrafinas foram realizadas em micrótomo

automático Leica EM UC6 Ultracut R com navalha de diamante, coradas com acetato de uranila e citrato de chumbo e observadas em microscópio de transmissão JEOL JEM 1200EX-II.

A descrição morfológica seguiu as terminologias de Milby (1976), Westerkamp & Weber (1999) e Marques & Peixoto (2007).

#### 4.3 RESULTADOS

No racemo floral de *Polygala* as estruturas amareladas são difíceis de identificar (Fig. 1B). A flor de *Polygala* é diclamídea com organização acíclica das peças florais (Fig. 1C). Estruturas amareladas foram identificadas nas peças externas da flor (Fig. 1D, seta). A morfologia externa de cada peça floral, mostra que as estruturas são glândulas arredondadas presentes nas sépalas externas (Fig. 1E, seta), no dorso da carena (Fig. 1F, seta), no ovário (Fig. 1G, seta) e fruto (Fig. 1H, seta).

Na sépala externa as regiões glandulares são identificadas pela protuberância presente, sendo visíveis estômatos na face externa (Fig. 1I). Na face interna da sépala a cutícula tem deposição mais densa na região glandular que o entorno desta (Fig. J). Na carena e ovário a única característica que identifica a região glandular é uma leve protuberância em decorrência da presença da estrutura (Fig. 1 L, M). Em nenhuma das peças florais é identificada abertura para exsudação de substâncias.

Na inflorescência ocorre estrutura glandular diferenciada nas brácteas periféricas (Fig. 2A, seta) e estrutura glandular em diferenciação nas brácteas centrais (Fig. 2A, círculo pontilhado). No botão floral jovem, a estrutura glandular se diferencia no sentido das peças florais externas (Fig. 2B) para as internas (Fig. 2C). O desenvolvimento do ovário, última peça formada, é acompanhado pela diferenciação de estruturas glandulares (Fig. 2D).

Nos primeiros estágios de diferenciação da glândula as células iniciais do meristema fundamental começam o processo de divisão no plano periclinal (Fig. 3A), seguida de divisões anticlinais e oblíquas (Fig. 3B). As divisões celulares aumentam o tamanho da estrutura, que é seguido pelo afastamento das células e consequente formação do lúmen. Esse é delimitado por um epitélio de células achatadas e alongadas periclinamente, envolto por uma bainha epitelial (Fig. 3C). As células que constituem a estrutura glandular nos estágios iniciais de diferenciação possuem conteúdo citoplasmático denso (Fig. 3D), com presença de mitocôndrias, ribossomos, complexo de Golgi, retículo endoplasmático e plastídios (Fig. 3E). O núcleo é grande e o vacúolo não está desenvolvido no início da síntese da substância no epitélio secretor (Fig. 3F). A substância sintetizada no epitélio secretor e células da bainha é vista em vesículas, que estão próximos ou em fusão com a membrana plasmática, se acumulando no espaço periplasmático (Fig. 3G).

Na estrutura diferenciada, a substância secretada é acumulada no lúmen da glândula (Fig. 3H). A substância ao ser secretada passa pela parede celular sem promover ruptura (Fig. 3I). No final do processo de secreção da substância, seu acúmulo cessa no espaço periplasmático e as células epiteliais têm o conteúdo citoplasmático reduzido a poucas organelas com vacúolo central bem desenvolvido (Fig. 3J).

A estrutura glandular não submetida a corante ou reagente, tem a secreção com coloração amarelo/alaranjada e aspecto viscoso (Fig. 4A). Reações aos histoquímicos estão descritas na tabela 2. Reações positivas com Sudan III (Fig. 4B) e reagente de Nadi (Fig. 4C), corou de vermelho e vermelho escuro as células e lúmen da estrutura glandular. A reação do fluorocromo Vermelho Neutro com a substância da estrutura glandular tem fluorescência azul (Fig. 4D) e amarela (Fig. 4E) em UV. Com o fluorocromo Auramina O a emissão de fluorescência em UV é verde nas células do

epitélio e bainha epitelial de estruturas que não exsudaram substância (Fig. 4F) e azul quando o conteúdo produzido está acumulado no lúmen (Fig. 4G).

#### 4.4 DISCUSSÃO

As estruturas amareladas encontradas nas peças florais de *Polygala*, apresentam morfologia globosa, formada por tecido secretor delimitando um lúmen que armazena substância, caracterizando a estrutura como cavidade secretora (Teixeira & Rocha 2009; Barros *et al.* 2017). As cavidades encontradas produzem substâncias com natureza lipofílica, bem comum nesse tipo de estrutura (Fanh 1979). Substância como essas tem sido relatada para flores em vários grupos de angiospermas desempenhando funções na polinização sendo fonte de recompensa e de proteção contra herbivoria (ver Armbruster 1984; Ciccarelli *et al.* 2001; Sá-Haiad *et al.* 2015).

A distribuição das cavidades secretoras varia de acordo com a peça floral em que é encontrada, mas é comum estarem posicionadas na região mediana dessas. A concentração de cavidades é diferente em cada peça floral. A única característica que identifica as cavidades é a protuberância na epiderme, não exibindo nenhuma abertura especial para exsudação. Os estômatos presentes, não estão envolvidos em uma via de liberação do exsudado.

A diferenciação das cavidades secretoras acompanha o desenvolvimento da inflorescência. A cavidade está presente nas brácteas, no ápice da inflorescência, antes mesmo da formação do botão floral. A diferenciação dessas estruturas tanto na inflorescência quanto no botão floral acontece das peças externas para as internas e da base para o ápice. No botão floral imaturo a diferenciação da cavidade acompanha a formação de cada peça floral, sendo as sépalas as primeiras a apresentar essas estruturas em diferenciação. Essa diferenciação das cavidades, segue para a carena à medida que se desenvolve. A última peça floral a iniciar a diferenciação das cavidades é o ovário,

que também é a última peça a desenvolver. A diferenciação da cavidade, durante todo o desenvolvimento floral, sugere que a estrutura exerce uma função de proteção até a semente estar formada.

A diferenciação da cavidade secretora é reconhecida pelo conjunto das células iniciais com citoplasma denso e núcleo bem evidente. O afastamento das células iniciais e a não desintegração destas, caracteriza o desenvolvimento da estrutura com um lúmen. Essas características mostram que as cavidades se desenvolvem por esquizogênese (Fahn 1979). Nos estágios de desenvolvimento e síntese de substância, as células da cavidade têm conteúdo citoplasmático denso, indicando alta atividade metabólica. Citoplasma denso é comum em estruturas secretoras citadas em trabalhos que analisaram seu desenvolvimento e secreção (Teixeira & Rocha 2009; Sadala-Castilho *et al.* 2016).

Na síntese das substâncias muitas organelas estão presentes nas células da estrutura glandular. A presença de retículo endoplasmático, mitocôndrias e plastídios é compatível com outras estruturas secretoras que produzem substâncias lipofílicas (Paiva & Machado 2007; Sadala-Castilho *et al.* 2016; Gonçalves-Souza *et al.* 2018). A abundância de corpos vesiculares no citoplasma e o acúmulo da substância no espaço periplasmático, caracterizam uma secreção de via granulócrica (Fahn 1979). Posteriormente, a substância acumulada no espaço periplasmático é secretada no lúmen da cavidade, atravessando a parede celular sem que aconteça ruptura da célula. O conteúdo citoplasmático reduzido, vacúolo grande e não acúmulo de substância no espaço periplasmático indicam a completa diferenciação da cavidade secretora. A cavidade diferenciada retém a substância e a liberação só acontece em caso de lesão.

Os testes histoquímicos descartaram a presença de amido, polissacarídeos gerais, pectinas, compostos fenólicos e proteínas na cavidade secretora. As substâncias

produzidas pela cavidade revelaram ser uma mistura de lipídeos e terpenos. Nos testes de fluorescência a coloração diferente da substância na cavidade, sugere diferença na composição lipídica (Kirk 1970). A reação positiva ao teste de Nadi mostrou que o conteúdo produzido na cavidade secretora é resina. Substâncias de natureza terpênicas, como a resina, é associada principalmente em deter herbivoria na planta (Fahn 2002; Armbruster *et al.* 1997). A resina armazenada nas cavidades secretoras de *Polygala* provavelmente atuam na proteção contra o ataque de herbívoros e contribui na obstrução de lesão na flor. Essa função é sugerida pela relação do gênero com formigas que atuam na dispersão de sementes (Forest *et al.* 2007). A cavidade resinífera, presente desde o botão floral jovem, poderia evitar a predação antes do amadurecimento do fruto. A relação de secreção de resina atuando na proteção das plantas é citado em trabalhos que estudaram essas estruturas secretoras (Fahn 2002; Armbruster 1997). Ainda que a estrutura floral fosse predada, a substância produzida pode contribuir na cicatrização da lesão. Essa condição está relacionada a solidificação ao atingir o ambiente externo e propriedades antissépticas da substância (Fahn 1979; Barros *et al.* 2017).

As cavidades encontradas nas flores de *Polygala* são secretoras de resina. Essa substância fica retida no lúmen da estrutura, que não possui uma via de liberação para o ambiente externo. A cavidade resinífera acompanha todo o desenvolvimento floral, possivelmente atuando na proteção contra herbívoros. Outro benefício sugerido é a cicatrização quando a flor é predada. Desta forma, estudos ecológicos que amplie o conhecimento da interação planta-animal-planta em relação as cavidades secretoras em *Polygala* é recomendado.

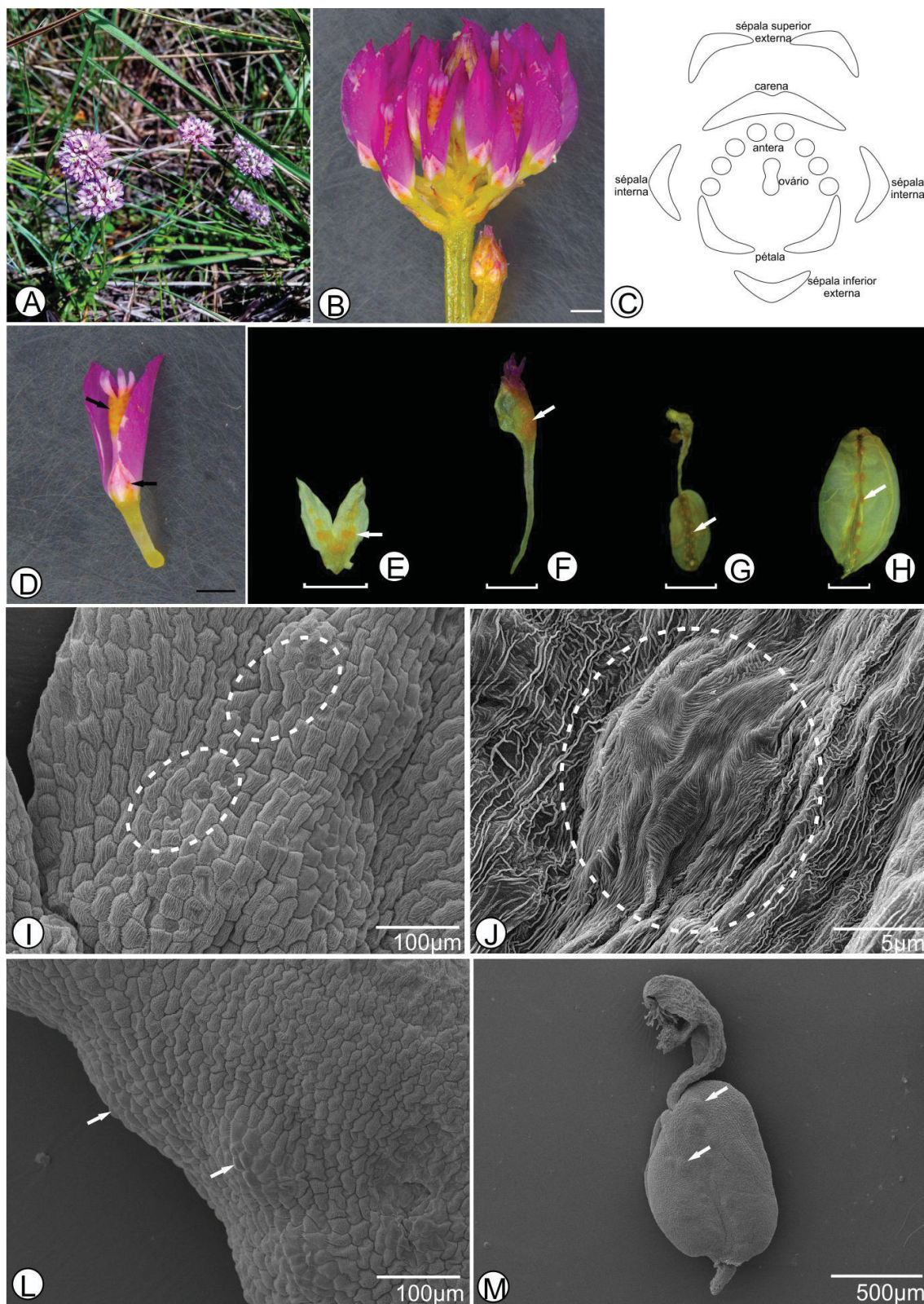
#### 4.5 REFERÊNCIAS

Abbott JR. 2009. Phylogeny of the Polygalaceae and a revision of *Badiera*. Tese (Doutorado em Phylosofy) - University of Florida, Florida.

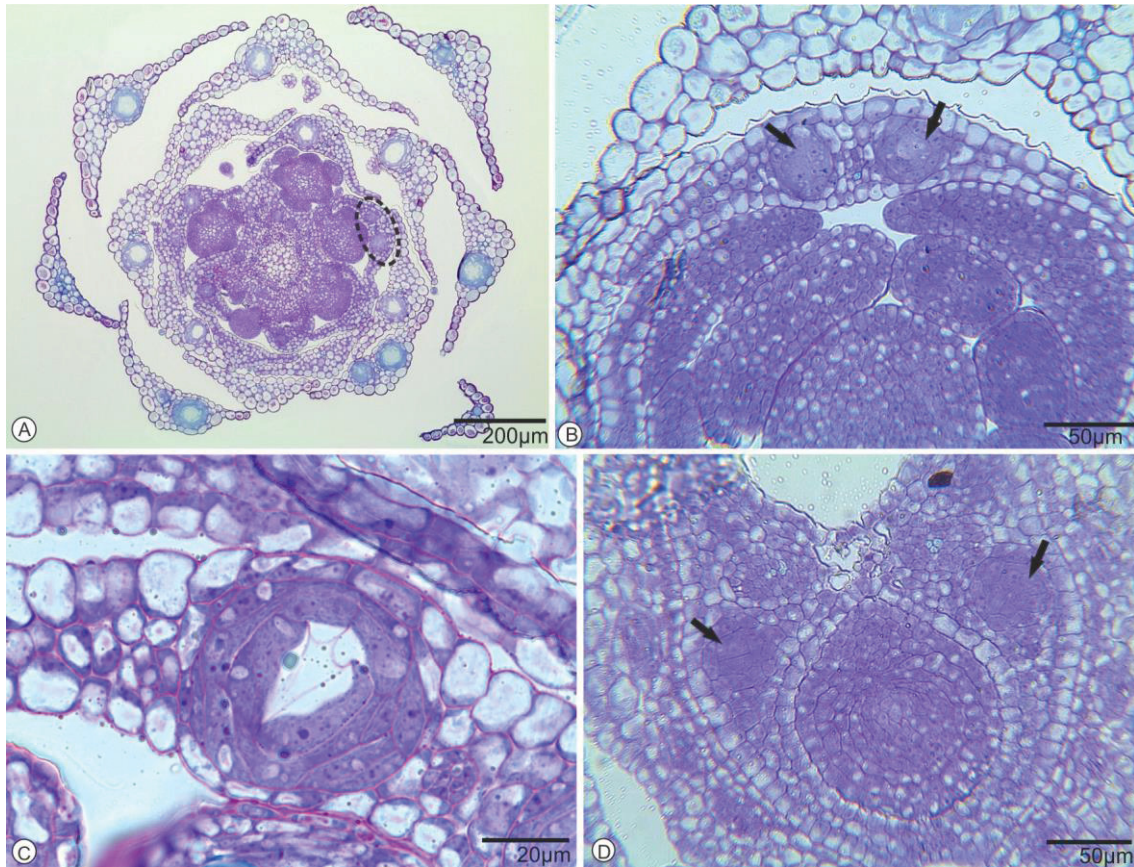
- Aguiar-Dias ACA, Cardoso-Gustavson P. 2011. Ontogeny of the mucilage ducts of *Polygala angulata* DC. (Polygalaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society* 138:255-261.
- Aguiar-Dias ACA, Yamamoto K, Castro MM. 2012. Anatomia foliar de cinco espécies de *Polygala* de restinga e cerrado. *Rodriguésia* 63:395-404.
- Armbruster WS. 1984. The role of resin in angiosperm pollination: ecological and chemical considerations. *American Journal of Botany* 71: 1149-1160.
- Armbruster WS. 1997. Exaptations link evolution of plant-herbivore and plant-pollinator interactions: a phylogenetic inquiry. *Ecology* 78: 1661-1672.
- Armbruster WS, Howard JJ, Clausen TP, et al. 1997. Do biochemical exaptations link evolution of plant defense and pollination systems? Historical hypotheses and experimental tests with *Dalechampia* Vines. *The American Naturalist* 149: 461-484.
- Armbruster WS, Webster GL. 1979. Pollination of two species of *Dalechampia* (Euphorbiaceae) in Mexico by Euglossine bees. *Biotropica* 11: 278-283.
- Barros TC, Marinho CR, Pedersoli GD, Paulino JV, Teixeira SP. 2017. Beyond pollination: diversity of secretory structure during flower development in different legume lineages. *Acta Botanica Brasilica* 31: 358-373.
- Bello-Gutierrez MA, Hawkins JA, Rudall PJ. 2010. Floral Ontogeny in Polygalaceae and Its Bearing on the Homologies of Keeled Flowers in Fabales. *International Journal of Plant Sciences* 171: 482-498.
- Cain AJ. 1947. The use of Nile blue in the examination of lipids. *Quarter. J. Microsc. Sci.* 88: 383-392.
- Chodat RH. 1893. *Monographia Polygalacearum*. Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, Genève 31: 1-500.
- Ciccarelli D, Andreucci AC, Pagni AM. 2001. Translucent Glands and Secretory Canals in *Hypericum perforatum* L. (Hypericaceae): Morphological, Anatomical and Histochemical Studies During the Course of Ontogenesis. *Annals of Botany* 88: 637-644.
- David R, Carde JP. 1964. Coloration différentielle des pseudophylles de *Pin maritime* au moyen du reactif de Nadi. *C. R. Acad. Sci. Paris* 258: 1338-1340.
- Eriksen B. 1993. Floral anatomy and morphology in the Polygalaceae. *Plant Systematics and Evolution* 186 17-32.
- Fahn A. 1979. *Secretory tissues in plants*. edn. London, Academic Press.
- Fahn A. 1988. Secretory tissues in vascular. *New Phytologist* 108: 229-257.
- Fahn A. 2000. Structure and functions of secretory cells. *Advances in Botanical Research* 31: 37-75.

- Fahn A. 2002. Functions and location of secretory tissues in plants and their possible evolutionary trends. *Israel Journal of Plant Sciences* 50: 59-64.
- Ferreira DMC, Barbosa JIS, Alves M. 2017. Flora da Usina São José, Igarassu, Pernambuco: Polygalaceae. *Rodriguésia* 68: 251-262.
- Fisher DB. 1968. Protein staining of ribboned Epon sections for light microscopy. *Histochemie* 16: 92-96.
- Forest F, Chase MW, Persson C, Crane PR, Hawkins JA. 2007. The role of biotic and abiotic factors in evolution of ant dispersal in the milkwort family (Polygalaceae). *Evolution* 61: 1675-1694.
- Flora do Brasil. 2019. *Polygala* in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB20548>. 07 julho de 2019.
- Gonçalves-Souza P, Schlindwein C, Paiva EAS. 2018. Floral resins of *Philodendron adamantinum* (Araceae): secretion, release and synchrony with pollinators. *Acta Botanica Brasilica* 32: 392-401.
- Heslop-Harrison Y. 1977. The pollen-stigma interaction: pollen-tube penetration in *Crocus*. *Ann. Bot.* 41: 913-922.
- Jensen WA. 1962. Botanical histochemistry. end. San Francisco, W.H. Freeman and Company.
- Johansen DA. 1940. Plant Microtechnique. end. New York, McGraw-Hill.
- Karnovsky MJ. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cellular Biology* 27: 137-138.
- Kirk PW. 1970. Neutral red as a lipid fluorochrome. *Stain Technology* 45: 1-4.
- Ludtke R, Boldrini IL, Miotto STS. 2008. *Polygala altomontana* (Polygalaceae) a new species from southern Brazil. *Kew Bulletin* 63: 665-667.
- Ludtke R, Souza-Chies TT, Miotto STS. 2013. O gênero *Polygala* L. (Polygalaceae) na região Sul do Brasil. *Hoehnea* 40: 1-50.
- Marques MCM. 1988. Polígalas do Brasil V: seção *Polygala* (Polygalaceae). *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* 29: 1-114.
- Marques MCM, Pastore JFB. 2006. Duas espécies novas de *Polygala* L. (Polygalaceae) para o Brasil. *Rodriguésia* 57: 99-102.
- Marques MCM, Peixoto AL. 2007. Estudo taxonômico de *Polygala* subgênero *Ligustrina* (Chodat) Paiva (Polygalaceae). *Rodriguésia* 58: 95-146.
- McManus JFA. 1948. Histological and histochemical uses of periodic acid. *Stain Technol.* 23: 99-108.

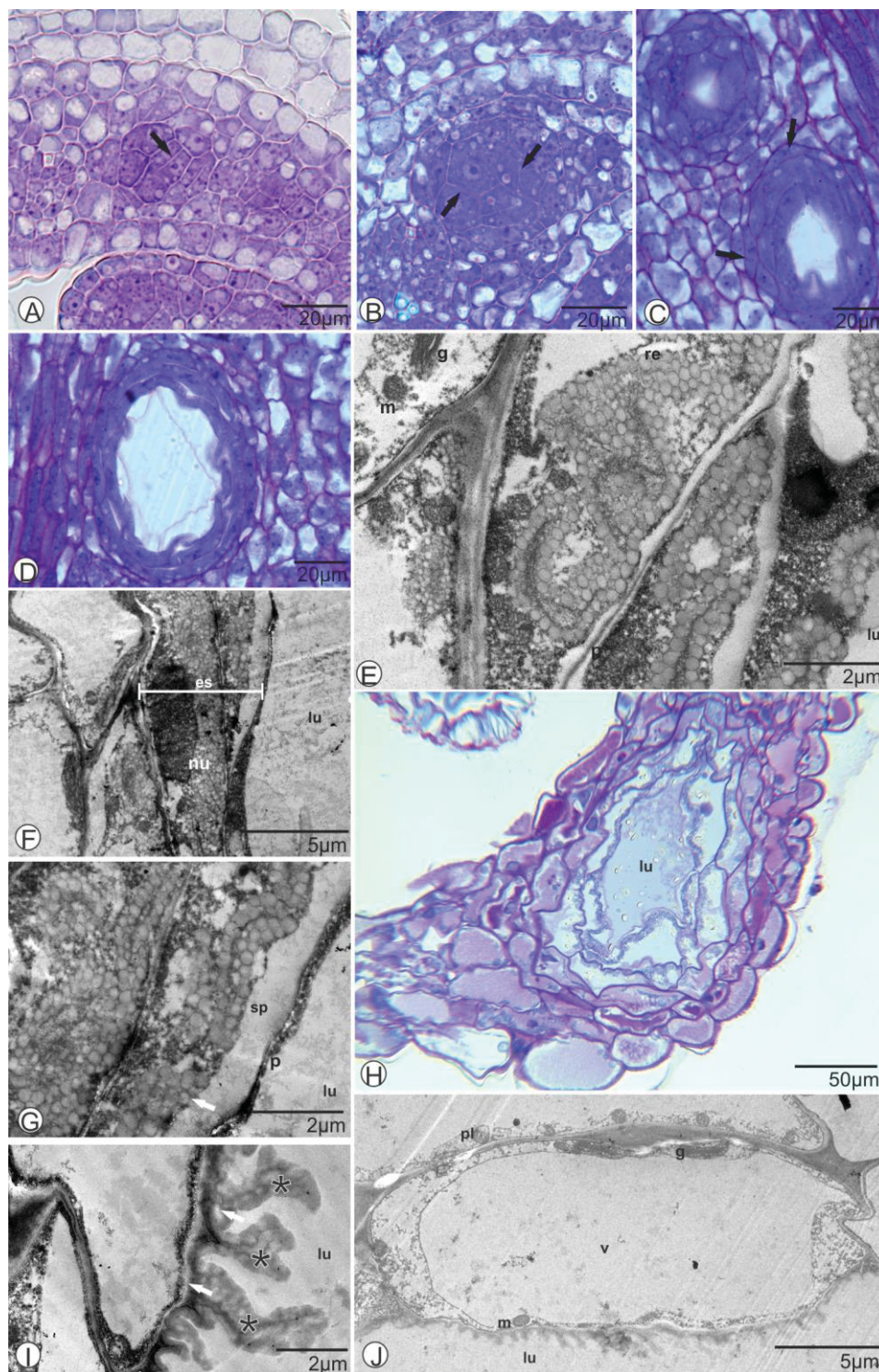
- Mesquita RCG, Franciscon CH. 1995. Flower visitors of *Clusia nemorosa* G. F. W. Meyer (Clusiaceae) in an Amazonian White-Sand Campina. *Biotropica* 27: 254-257.
- Milby TH. 1976. Studies in the Floral Anatomy of *Polygala* (Polygalaceae). *American Journal of Botany* 63: 1319-1326.
- O' Brien TP, Feder N, McCully ME. 1964. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma* 59: 368-373.
- Paiva EAS. 2016. How do secretory products cross the plant cell wall to be released? A new hypothesis involving cyclic mechanical actions of the protoplasto. *Annals of Botany* 117: 533-540.
- Paiva EAS, Machado SR. 2007. Structural and ultrastructural aspects of ontogenesis and differentiation of resin secretory cavities in *Hymenaea stigonocarpa* (Fabaceae-Caesalpinioideae) leaves. *Nord. J. Bot.* 24: 423-43.
- Pastore JFB. 2018. *Polygala veadeiroensis* (Polygalaceae), a new species of *Polygala* endemic to Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. *Kew Bulletin* 73: 37-39.
- Pastore JFB, Silveira JB. 2016. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Polygalaceae. *Rodriguésia* 67: 1451-1458.
- Prenner G. 2004. Floral development in *Polygala myrtifolia* (Polygalaceae) and its similarities with Leguminosae. *Plant Systematic Evolution* 249: 67-76.
- Sadala-Castilho R, Machado SR, Sá-Haiad B. 2016. Oil-resin glands in Velloziaceae flowers: structure, ontogenesis and secretion. *Plant Systematic Evolution* 302: 585-599.
- Sá-Haiad B, Silva CP, Paula RCV, Rocha JF, Machado SR. 2015. Androecia in two *Clusia* species: development, structure and resin secretion. *Plant Biology* 17: 816-824.
- Saint-Hilaire AFGP, Moquin-Tandon CBA. 1828. *Conspectus Polygacearum Brasiliae Meridionalis*. *Anais da Sociedade de Ciências, Belles-Lettres e Arts d'Orléans* 9: 44-59.
- Teixeira SP, Rocha JF. 2009. Oil glands in the Neotropical genus *Dahlstedtia* Malme (Leguminosae, Papilionoideae, Millettieae). *Revista Brasil. Bot.* 32: 57-64.
- Westerkamp C, Weber A. 1999. Keel flowers of the Polygalaceae and Fabaceae: a functional comparison. *Botanical Journal of the Linnean Society* 129: 207-221.



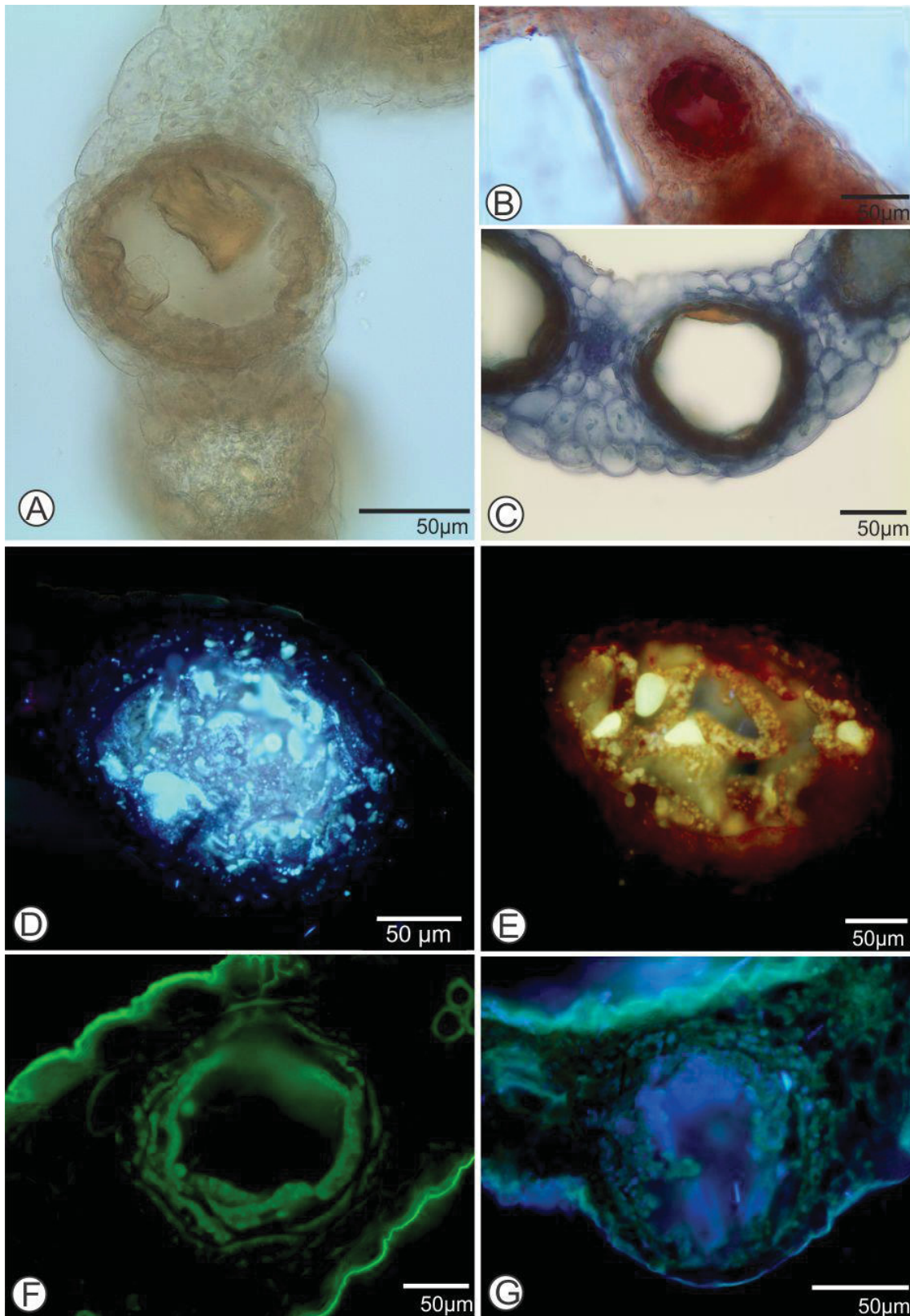
**Figura 1:** *Polygala moquiniana* A. St.-Hil & Moq. (A). Morfologia e distribuição das cavidades secretoras. (B) Racemo de *P. longicaulis* com estruturas amareladas; (C) Esquema da flor de *Polygala*; (D) Flor de *Polygala*, setas indicam estruturas amareladas; (E) Sépala superior externa, seta indica região da cavidade; (F) Carena, seta indica região da cavidade; (G) Gineceu, seta indica região da cavidade; (H) Fruto, seta indica região da cavidade; MEV das peças florais: (I) Face externa da sépala superior externa, círculo pontilhado indica estômatos na região da cavidade; (J) Face interna da sépala superior externa, círculo pontilhado indica região da cavidade; (L) Carena, seta indica protuberância no dorso; (M) Ovário, seta indica protuberância próximo ao septo. Foto: Sthaylanny Silveira Flaviano



**Figura 2:** Cavidade secretora durante o desenvolvimento do botão floral de *P. longicaulis* em secção transversal. (A) Ápice da inflorescência, cavidade indicada por seta nas brácteas periféricas e círculo pontilhado nas brácteas centrais; (B) Botão floral, seta indica cavidade na sépala externa; (C) Cavidade na carena do botão floral; (D) Ovário em desenvolvimento, seta indica cavidade.



**Figura 3:** Estágios de desenvolvimento da cavidade secretora de *P. longicaulis* e *P. moquiniana* em secção transversal (A, B, H) e longitudinal (C, D). (A) Primeiros estágios de divisão periclinal, seta indica divisão; (B) Processo de divisão anticlinal e oblíqua indicados nas setas; (C) Cavidade delimitada com lúmen em formação, seta indica bainha epitelial; (D) Cavidade em diferenciação, células com citoplasma denso; (E) Ultraestrutura da cavidade, organelas distribuídas no citoplasma; (F) Ultraestrutura do epitélio secretor com núcleo evidente e vacúolo não desenvolvido, barra indica epitélio secretor; (G) Detalhe da célula epitelial com corpos vesiculares, seta indica substância liberada no espaço periplasmático; (H) Cavidade desenvolvida com substância armazenada no lúmen; (I) Detalhe da célula epitelial, seta indica parede sem ruptura e \* indica secreção da substância no lúmen; (J) Célula epitelial na estrutura desenvolvida. es – epitélio secretor, g – complexo de golgi, lu – lúmen, m – mitocôndria, nu – núcleo, p – parede celular, pl – plástideo, re - retículo endoplasmático, sp – espaço periplasmático, v – vacúolo.



**Figura 4:** Reações histoquímicas da cavidade secretora de *P. longicaulis* e *P. moquiniana*. (A) Estrutura sem corante ou reagente; (B) Estrutura com reação positiva a Sudan III; (C) Reação positiva para substância terpênica (Reagente de Nadi); (D, E) Fluorescência com vermelho neutro em filtro UV; (F, G) Fluorescência com Auramina O em filtro UV.

**Tabela 1.** Testes histoquímicos usados na investigação do conteúdo sintetizado pelas cavidades secretoras ('glândulas cróceas').

Grupos de Metabólitos		Reagentes
Lipídios	Lipídios ácidos e neutros	Sulfato Azul de Nilo (Cain, 1924 modificado) Sudan III (Johansen, 1940)
	Lipídios gerais	Vermelho neutro* (Kirk, 1970 modificado) Auramina O* (Heslop-Harrison, 1977)
	Terpenóides	Óleos essenciais e resina
Glicídios	Amido	Lugol (Jensen, 1940)
	Polissacarídeos gerais	Periodic Acid Schiff – PAS (McManu, 1948)
	Pectinas	Vermelho de Rutênio (Johansen, 1940)
Fenóis	Compostos fenólicos gerais	Cloreto de Ferro III (Johansen, 1940)
Proteínas	Proteínas gerais	Azul brilhante de Comassie (Fisher, 1968)

\*fluorocromos utilizados na microscopia de fluorescência.

**Tabela 2.** Histoquímico das cavidades secretoras na flor de *Polygala longicaulis* e *Polygala moquiniana*. SAN: Sulfato Azul de Nilo; Su: Sudan III; VN: Vermelho Neutro; AO: Auramina O, Lu: Lugol; PAS: Periodic Acid Schiff; VR: Vermelho de Rutênio; RN: Reagente de Nadi; ClFe: Cloreto de Ferro III; AC: Azul Brilhante de Comassie. +: resultado positivo; -: resultado negativo

Estrutura glandular	SAN	Su	VN	AO	Lu	PAS	VR	RN	ClFe	AC
Células epiteliais	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-
Lúmen	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-
Bainha epitelial	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foram identificados caracteres morfológicos florais importantes na caracterização dos grupos. A variação morfológica floral analisada relaciona os grupos de espécies. As análises mostraram que o clado 'Trichospermae' é bem sustentado, sendo formado por quatro cladogramas internos. O clado 'Trichospermae' apresenta caracteres diagnósticos como glândulas amarelas nas sépalas externas e forma da cavidade pré-estigmática, que identifica o grupo. O clado interno 'Trichospermae I' é bem caracterizado, sendo reconhecido principalmente pelo unguículo longo. O conjunto de caracteres homoplásicos, margem ciliada nas brácteas e sépalas, identificam o clado interno 'Ericoideae I'. Os cladogramas internos 'Ericoideae I e II', possuem a corola persistente no fruto que mesmo sendo um caractere homoplásico é comum as espécies. No entanto, caracteres que identifiquem os cladogramas internos 'Trichospermae II' e 'Ericoideae II' não foram encontrados. Apesar dos caracteres identificados não foi possível sugerir uma delimitação para o grupo. A inclusão de outros dados morfológicos florais, vegetativos e anatômicos podem auxiliar na delimitação com características que identifiquem o grupo.

A espécie nova descrita está relacionada com as espécies de *Ericoideae*, sendo muito próxima de *P. rigida* por seus caracteres morfológicos florais. No entanto, pode ser distinguida pelas folhas e pontualmente em alguns caracteres florais. Por fim, a espécie tem preferência por habitat rochoso, sendo referenciado no epíteto.

A análise das estruturas amareladas nas flores de *Polygala* foram identificadas como estruturas glandulares que secretam resina. A estrutura está presente nas sépalas externas, carena e ovário/fruto. Não foi identificado abertura especial para exsudação de substância na análise de MEV. A estrutura resinífera está presente nas brácteas, no ápice da inflorescência, antes do desenvolvimento do botão floral. O desenvolvimento do botão floral é acompanhado pela diferenciação da estrutura glandular, que é visível primeiro nas peças externas. A estrutura se diferencia por seguidas divisões celulares, que por esquizogênese forma a estrutura glandular. As células que compõem a estrutura são ricas em organelas, comum nesse tipo de estrutura secretora. A substância produzida em grânulos é secretada e armazenada no lúmen. Os testes histoquímicos revelaram que o conteúdo tem natureza lipofílica. Diante

dessas características acredita-se que a função da estrutura glandular é atuar na proteção contra herbivoria, bem como auxiliar na cicatrização de lesões. Desta forma, outros estudos que investigue a relação ecológica de interação planta- animal relacionando com as estruturas glandulares são recomendados.