



**MARIANA VIRGINIA DE FREITAS DIAS**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA FOLHA DE  
*Erythroxylum tortuosum* MART. (ERYTHROXYLACEAE) EM  
AMBIENTES DE CERRADO STRICTO SENSU E CAMPO  
RUPESTRE**

**LAVRAS – MG**

**2019**

**MARIANA VIRGINIA DE FREITAS DIAS**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA FOLHA DE *Erythroxylum tortuosum*  
MART. (ERYTHROXYLACEAE) EM AMBIENTE DE CERRADO STRICTO SENSU  
E CAMPO RUPESTRE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Marinês Ferreira Pires Lira

**Orientador**

Prof. Dr. Manuel Losada Gavilanes

**Coorientador**

**LAVRAS – MG**

**2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Dias, Mariana Virginia de Freitas.

Características anatômicas da folha de *Erythroxylum tortuosum*  
Mart. (Erythroxylaceae) em ambiente de cerrado stricto sensu e  
campo rupestre / Mariana Virginia de Freitas Dias. - 2019.  
44 p. : il.

Orientador(a): Marinês Ferreira Pires Lira.

Coorientador(a): Manuel Losada Gavilanes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Anatomia Vegetal. 2. Plasticidade Foliar. 3. Anatomia  
Ecológica. I. Lira, Marinês Ferreira Pires. II. Gavilanes, Manuel  
Losada. III. Título.

**MARIANA VIRGINIA DE FREITAS DIAS**

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA FOLHA DE *Erythroxylum tortuosum* MART. (ERYTHROXYLACEAE) EM AMBIENTE DE CERRADO STRICTO SENSU E CAMPO RUPESTRE**

**LEAF ANATOMY TRAITS OF *Erythroxylum tortuosum* MART. (ERYTHROXYLACEAE) IN CERRADO AND RUPESTRIAN FIELDS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2019.

Dr. Luis Carlos de Almeida Rodrigues IFMG

Dr. Vinicius Politi Duarte UFLA

Dr. Manuel Losada Gavilanes UFLA

Prof. Dra. Marinês Ferreira Pires Lira

**Orientador**

Prof. Dr. Manuel Losada Gavilanes

**Coorientador**

**LAVRAS – MG**

**2019**

*Aos meus pais Maria e Clério, por todo amor e apoio ao longo da vida.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Clério e Maria, por todo apoio, dedicação, e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Marcelo e Mayara por todo apoio e confiança.

À minha cunhada Helen por todo apoio.

Aos meus sobrinhos, Lívia, Pedro, João Pedro e Evelyn pelos momentos de alegria.

À Vovó Elza por sempre torcer e rezar por mim e por sempre estar presente em todos os momentos.

À minha orientadora Prof. Marinês, pela confiança e aprendizado.

Ao meu coorientador e amigo, Prof. Manuel Losada Gavilanes, por toda dedicação, apoio, paciência, confiança e aprendizado.

Às amigas que tive a honra de conhecer na faculdade e vou levar para a vida toda, Marina, Marian e Silmara, nossas tardes na grama foram uma de minhas melhores memórias.

Aos amigos de laboratório André, Ítalo, Fernanda e Wagner, por todo apoio e ajuda.

Às amigas Bárbara, Ana Carolina, Isabela e Thaisa, pela amizade, apoio e “gordices” durante o mestrado

Aos amigos de Divinópolis, Flávia, Lucas, Marco, Thais e Samara pela amizade desde os tempos de cursinho.

Ao Daniel, pela amizade verdadeira desde a infância.

A J.K. Rowling, que apesar de não saber da minha existência, me inspira a ser a ser uma pessoa melhor e me proporciona momentos maravilhosos, seja lendo seus livros ou assistindo seus filmes.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada da Universidade Federal de Lavras, por todo aprendizado e conhecimento científico.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial o Setor de Botânica e Laboratório de Anatomia Vegetal por permitir a realização do mestrado e deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

Muitas espécies desta formação vegetal evoluíram sob forte pressão seletiva por herbívoros, apresentam-se bem adaptadas a solos distróficos, ácidos, ricos em alumínio, e resistem a períodos de seca, frequentemente prolongados. É importante ressaltar a relevância dos cerrados, como um recurso genético ímpar destacando a necessidade de proteger e preservar sua diversidade genética. Apesar de muitas das adaptações estruturais das plantas de cerrado sejam conhecidas, as informações são limitadas a um número muito pequeno de espécies. Os aspectos da morfologia e anatomia da maioria dos representantes do cerrado são desconhecidos frente à riqueza e diversidade desta formação. Com bases nestas informações, este trabalho teve como objetivo um estudo morfoanatômico descritivo e quantitativo da folha de *Erythroxylum tortuosum* Mart. (Erythroxylaceae) presentes em dois ambientes: cerrado stricto sensu e campo rupestre. Para a realização dos estudos, foram coletadas e fixadas 24 folhas plenamente desenvolvidas de indivíduos presentes em dois ambientes: cerrado stricto sensu e campo rupestre. E para o estudo da anatomia quantitativa foram obtidos as seguintes análises: área, comprimento, largura e massa das folhas, densidade estomática, diâmetros polar e equatorial dos estômatos, espessura da lâmina foliar, do mesofilo, das epidermes e cutículas das faces adaxial e abaxial e dos parênquimas paliçádico esponjoso. Quanto a sua anatomia, observou-se epiderme glabra e unisseriada quando vista em corte transversal. Os estômatos são do tipo paracítico e ocorrem na face abaxial, classificando a espécie como hipoestomática. O mesofilo é do tipo dorsiventral, com sistema vascular denso e o feixe vascular é do tipo colateral. A venação é do tipo pinada, camptódroma, broquidódroma, com rede de nervuras densas e nervuras pseudosecundárias. Foram encontradas diferenças estatísticas para quase todas as variáveis analisadas, sugerindo que diferentes condições ambientais podem influenciar o desenvolvimento da planta.

Palavras-chave: Plasticidade foliar. Anatomia ecológica, Muxiba-comprida. Morfologia foliar

## ABSTRACT

Many species of this plant formation have evolved under strong selective pressure by herbivores, they are well adapted to dystrophic, acidic, aluminum rich soils, and resist periods of drought, often prolonged. It is important to emphasize the relevance of Cerrados as a unique genetic resource highlighting the need to protect and preserve its genetic diversity. Although many of the structural adaptations of cerrado plants are known, the information is limited to a very small number of species. The aspects of the morphology and anatomy of the majority of the representatives of the cerrado are unknown to the richness and diversity of this formation. Based on this information, this work aimed at a descriptive and quantitative morphological study of *Erythroxylum tortuosum* Mart. leaf. (Erythroxylaceae) present in two environments: cerrado stricto sensu and rupestre field. For the accomplishment of the studies, 24 fully developed leaves of individuals present in two environments were collected and fixed. For the quantitative anatomy study the following analyzes were obtained: area, length, width and mass of the leaves, stomatal density, polar and equatorial diameters of the stomata, thickness of leaf, mesophyll, epidermis and cuticles of the adaxial and abaxial faces and the palisade parenchyma and spongy parenchyma. As for its anatomy, it was observed glabrous and uniseriate epidermis when seen in cross-section. The stomata are paracytic type and occur in the abaxial face, classifying the species as hypostomatic. The mesophyll is dorsiventral type, with dense vascular system and the vascular bundle is collateral type. The venation is pinnate type, camptodroma, brochidodroma, with a network of dense veins and pseudo-secondary veins. Statistical differences were found for almost all analyzed variables, suggesting that different environmental conditions may influence the development of the plant

Key words: Leaf Plasticity. Ecology Anatomy. Muxiba-comprida. Leaf Morphology



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Serra do Campestre, onde foram realizadas as coletas, no município de Lavras, MG .....	18
Figura 2: Exsicatas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> de ambiente de cerrado e campo rupestre .....	19
Figura 3: Equipamentos utilizados para obtenção da massa e dimensões foliares .....	20
Figura 4: equipamentos utilizados para a análise e obtenção de imagens.....	22
Figura 5: Representação da epiderme de <i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	24
Figura 6: Corte transversal do mesofilo de <i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	25
Figura 7: Corte transversal da nervura central da folha de <i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	26
Figura 8: Esquema do bordo foliar de <i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	27
Figura 9: Folha de <i>Erythroxylum tortuosum</i> .....	28
Figura 10: Aspecto das nervuras de folhas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> coletadas em ambiente cerrado e campo rupestre .....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área, comprimento e largura das folhas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> em ambiente de cerrado e campo rupestre. ....	31
Tabela 2: Massa das folhas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> em ambiente de cerrado e campo rupestre .....	32
Tabela 3: Modificações nas características estomáticas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> em ambiente de cerrado e campo rupestre .....	33
Tabela 4: Espessura das epidermes e cutículas das faces adaxial e abaxial das folhas de <i>Erythroxylum tortuosum</i> em ambiente de cerrado e campo rupestre .....	34
Tabela 5: Modificações na estrutura foliar de <i>Erythroxylum tortuosum</i> em ambiente de cerrado e campo rupestre.....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Os Cerrados .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 O Gênero <i>Erythroxylum</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Plasticidade foliar .....</b>	<b>16</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Coleta e fixação.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Massa e dimensões foliares.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Nervação Foliar .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Confeção das lâminas.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Microscopia e captura de imagens .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Análises anatômicas .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.1 Secção paradérmica .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.2 Secção transversal .....</b>	<b>23</b>
<b>3.7 Análises Estatísticas.....</b>	<b>23</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Descrição anatômica da folha.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2. Massa e dimensões foliares .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3. Anatomia Quantitativa da folha .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os cerrados brasileiros são considerados um dos ecossistemas com maior biodiversidade no mundo (FELFILI; SILVA-Jr, 2001), e é considerado um dos hotspots de diversidade. Entretanto, este bioma vem sofrendo mudanças antrópicas significativas ao longo dos anos, restando apenas 19,8% da sua flora original (STRASSBURG et al, 2017).

Um gênero bastante comum neste bioma é *Erythroxylum* P. Browne (Erythroxylaceae) (SOUZA; LORENZI, 2012) e suas espécies possuem grande importância ecológica, aplicações farmacológicas e na medicina popular (LOIOLA *et al.*, 2001). Esta importância se deve, principalmente devido a presença de alguns metabólitos, tais como alcaloides tropanicos, taninos, terpenos e fenilpropanoides (EVANS, 1981). De acordo com Zuanazzi et al. (2001), houve um aumento no interesse pelo gênero no século XIX, devido a descoberta das atividades farmacológicas apresentadas pelas folhas de *Erythroxylum coca* Lam., que eram empregadas pelos indígenas da região dos Andes, na América do Sul. É também de onde se extrai a cocaína (SILVA, 2013). Contudo, poucos trabalhos registram aspectos estruturais de suas espécies.

A plasticidade fenotípica em plantas é definida como a alteração na expressão do genótipo pelas influências ambientais (BRADSHAW, 1965), e pode se manifestar tanto morfológica como fisiologicamente. Spurr e Barnes (1973) acrescentam que a plasticidade pode influenciar substancialmente na adaptação das plantas. As folhas apresentam grande variação nas estruturas, devido fatores como a disponibilidade de água e luminosidade (MENEZES; SILVA; PINNA, 2013). Algumas modificações que se pode citar são área foliar, espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso, densidade estomática e alteração do número tamanho das células epidérmicas e massa das folhas (CUTTER, 2002). Para avaliação destes parâmetros estudos anatômicos são altamente significativos, especialmente quando associados aos aspectos ecológicos, fisiológicos e comparativos (METCALFE; CHALK, 1979).

Tendo como base informações descritas e sabendo da importância da plasticidade foliar na adaptação da planta a determinado ambiente estudos que visem avaliar as diferenças morfoanatômicas existentes nas folhas de *Erythroxylum tortuosum* Mart. (Erythroxylaceae) que ocorrem em ambiente de cerrado e campo rupestre se fazem necessários. Considerando

que as avaliações anatômicas quantitativas contribuirão com informações valiosas para trabalhos futuros relacionados à ecologia, farmacologia e medicina popular, bem como o conhecimento da vasta flora dos cerrados. Os objetivos deste trabalho foram avaliar as características de folhas de plantas da espécie *Erythroxylum tortuosum* que ocorrem em ambientes de cerrado e campo rupestre e fazer comparações entre as características observadas, com o objetivo de mostrar a influência da diferença dos ambientes na anatomia foliar

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 Os Cerrados**

O cerrado é uma formação complexa, que ocorre no interior do país, na faixa tropical com predomínio do clima quente e úmido, com estações seca e chuvosa bem definida, lençóis de água profundos e solos antigos (AZEVEDO, 1972). Este bioma ocupa cerca de 25% do território nacional, e reúne flora rica e diversa de acordo com Ribeiro e Walter (1998). A vegetação do bioma cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Este bioma é o mais ameaçado dos biomas brasileiros, com uma taxa anual de desmatamento de 0,7% na última década, de acordo com o Ministério do meio ambiente, em 2010. Dos 2,06 milhões de quilômetros quadrados originais, restam menos da metade. Por este motivo e por seus aspectos naturais, o cerrado é considerado um hotspot de biodiversidade (MYERS et al., 2000). Sua flora é bem distinta e característica em relação a outros biomas, entretanto diferentes fisionomias compartilham espécies entre si (RIZZINI, 1979). Além do clima, da química e física do solo, da disponibilidade de água e nutrientes, e da geomorfologia e topografia, a distribuição da flora é condicionada pela latitude, frequência de queimadas, profundidade do lençol freático, pastejo e inúmeros fatores antrópicos (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Existem, neste bioma, grande variedade de sistemas ecológicos, vários tipos de solos, clima, relevo e altitude, tendo em quase toda sua extensão uma combinação característica de condições edáficas e climáticas, originando uma vegetação xeromorfa, em clima estacional, com média de seis meses de período seco, podendo encontrar também clima ombrófilo. (VELOSO et al, 1991).

Os cerrados podem ser classificados de diversas formas. Ferri (1977) o classifica em: cerradão, cerrado propriamente dito, campo sujo e campo limpo, enquanto Pereira (1993) classifica em cinco tipos básicos: campo sujo, campo limpo, campo cerrado, cerrado senso stricto e cerradão. Brandão e Carvalho (1993) acrescentam a mata ciliar, mata seca, vereda e campo rupestre.

O cerrado stricto sensu ocupa, aproximadamente, 70% do bioma cerrado (ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004), e possui como características a presença de árvores baixas, inclinadas tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas. As folhas são, na grande maioria das espécies, rígidas e coriáceas. (RIBEIRO; WALTER, 1998). Ainda segundo Ribeiro e Walter (1998), vários fatores podem influenciar na densidade arbórea, tais como as condições edáficas, pH, saturação do alumínio, fertilidade, condições hídricas e profundidade do solo, além da frequência de queimadas e ações antrópicas.

A maioria dos solos desta vegetação são das classes Latossolo Vermelho-escuro, Latossolo Vermelho-amarelo e Latossolo roxo e apesar de boas características físicas são forte a moderadamente ácidos (pH entre 4,5 e 5,5), com carência de nutrientes essenciais, em especial fósforo e nitrogênio, e frequentemente, apresentam altas taxas de alumínio (RIBEIRO; WALTER, 1998). Esta fitofisionomia é classificada como Aw, de acordo com a classificação climática de Köppen (tropical chuvoso, com precipitações médias anuais de 1500 mm e duas estações bem definidas: seca, de abril a setembro, e chuvosa, de outubro a março), e com temperaturas médias entre 20° e 16°C (EITEN, 1993).

Campos rupestres ocorrem em altitude acima de 900 metros, aproximadamente, estando associados, principalmente a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro (VASCONCELOS, 2011). Nesta fisionomia há predomínio de vegetação herbáceo-arbustiva, com a presença de arvoretas pouco desenvolvidas. Sua composição florística varia a poucos metros de distância e a densidade de espécies depende do substrato. As espécies que habitam esta região possuem algumas características xeromórficas, como folhas pequenas, espessadas e coriáceas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O termo campo rupestre foi proposto para descrever a vegetação da Cadeia do Espinhaço e suas disjunções (MAGALHÃES, 1953). Apresenta solos rasos, arenosos, finos ou cascalhosos, ácidos, pobres em nutrientes e de relevo bastante íngreme e montanhoso (GIULIETTI et al, 2000; ROMERO, 2002; VITTA, 2000). O clima da região é do tipo Cwa, segundo Köppen (tropical de altitude), com verões amenos e úmidos e invernos secos. A temperatura média anual é de 20°C, com médias máximas de 25°C e médias mínimas de

10°C; a pluviosidade média anual é de 1400 mm, concentrando-se entre os meses de novembro a fevereiro (EPAMIG, 1982).

A vegetação que envolve os campos rupestres é mantida por fatores edafo-climáticos que limitam o crescimento e distribuição de árvores, como incêndios frequentes e, possivelmente herbivoria (FERNANDES, 2016). Para se estabelecer em afloramentos rochosos as plantas onde os solos são rasos e pobres as plantas precisam enfrentar condições ambientais severas como alta incidência de radiação, restrições hídricas, ventos fortes e oscilações diárias de temperatura (ESGARIO; RIBEIRO; SILVA, 2008). Assim, as plantas deste ambiente desenvolveram uma enorme variedade de características morfológicas e fisiológicas, tornando possível sua adaptação em diversos ambientes (FERNANDES, 2016).

## 1.2 O Gênero *Erythroxylum*

Uma família bastante comum nos cerrados é Erythroxylaceae, que possui quatro gêneros e aproximadamente 250 espécies. *Aneulophus* Benth., *Nectaropetalum* Benth. e *Pinacopodium* Exell & Mendonça. com distribuição restrita a África e poucos representantes, e *Erythroxylum* P. Browne., que possui registro nas Américas, Ásia, África e Austrália (DALY, 2004), tendo como centros de diversidade e endemismo o Brasil e a Venezuela (PLOWMAN; BERRY, 1999). Este gênero apresenta representantes com características lenhosas, arbóreo-arbustivas e subarbustivas com folhas glabras, membranáceas a coriáceas, de filotaxia alterna ou oposta e estípulas interpeciolares geralmente persistentes (RIBEIRO, et al. 1999).

Algumas espécies do gênero *Erythroxylum* possuem importância farmacológica e aplicação na medicina popular. A mais conhecida é *Erythroxylum coca* Lam. No Brasil, *Erythroxylum amplifolium* (Mart) O. E. Schulz e *Erythroxylum vaccifolium* Mart. são conhecidas como catuaba e utilizadas como estimulante do sistema nervoso central (HEGNAUER, 1981; BOHM, GANDERS; PLOWMAN, 1982).

O gênero é caracterizado pela presença de alcaloides tropânicos, taninos, terpenos e fenilpropanoides (EVANS, 1981), e algumas espécies do gênero são utilizadas na medicina popular para fins terapêuticos, como antipirético, antidiarrético, carminativo, diurético, e no tratamento de hemorragias, gripe, sinusite, amenorreia, dores no estômago (HEGNAUER, 1981, OLIVEIRA et al., 2010).

Dentre os trabalhos anatômicos relacionados a espécies de *Erythroxylum* no Brasil, pode-se citar os trabalhos de Bieras e Sajo (2004), que estudaram a anatomia foliar de nove

espécies de *Erythroxylum*, e outro em que estudaram ontogenia de três espécies de *Erythroxylum*.

Uma espécie pertencente a esta família é *Erythroxylum tortuosum* Mart. é uma planta arbustiva-arbórea típica dos cerrados (AMARAL Jr, 1973), ainda pouco estudada. Loiola (2004) ao estudar espécies da família em Grão Mogol observou que *E. tortuosum* apresenta hábito arbustivo com caule suberoso e irregularmente fendilhado. Esta espécie ainda possui catafilos e estípulas enérveos, em geral decíduos de 2-3 mm de comprimento, e margem densamente fimbriada quando jovem. O pecíolo possui entre 4-7 mm de comprimento. E as folhas são espatuladas a estreito-obovadas, com 10-15 cm de comprimento e 3-5 cm de largura, com ápice arredondado a curtamente agudo, base longamente atenuada, coriáceas, com face superior brilhante e inferior opaca e nervuras secundárias mais evidentes na face superior. Pode ser encontrada desde o Sudeste até Centro-oeste e Norte do Brasil, alcançando a Bolívia.

### 1.3 Plasticidade foliar

As folhas apresentam variações na sua estrutura para melhorar a adaptabilidade aos diferentes ambientes, pois são os órgãos mais expostos a condições aéreas e são mais susceptíveis a mudanças de ambiente que outros órgãos. Estas mudanças resultam em respostas morfológicas, como comprimento, espessura e largura, e anatômicas, tanto na superfície (epiderme e anexos) e mesófilo (parênquimas paliçádico e lacunoso, espaços intercelulares, esclerênquimas e vasos) (QIANG et al., 2007). Vários fatores ambientais podem causar alterações na morfologia e anatomia foliares, dentre eles a disponibilidade de luz (LINDORF, 1997), disponibilidade de nutrientes no solo (FELLER, 1996) e regime hídrico (RÔÇAS; BARROS; SCARANO, 1997).

As espécies que possuem grande potencial de plasticidade para características ligadas à sobrevivência apresentam vantagens adaptativas em ambientes instáveis, heterogêneos ou de transição, isto ocorre porque as mudanças produzidas podem facilitar a exploração de novos nichos, resultando no aumento da tolerância ambiental (VIA; LANDE, 1985).

Algumas características anatômicas quantitativas de espécies ocorrentes em diferentes ambientes já foram estudadas. Gavilanes et al (2016) ao estudarem as características foliares de *Palicourea rígida* Kunth. (Rubiaceae) viram que a área foliar é maior no cerrado em relação as folhas de campo rupestre. Isto ocorre porque o campo rupestre possui uma área mais aberta e sujeita a maior radiação e, de acordo com Kubínová (1991), folhas



desenvolvidas em ambiente com maior radiação apresentam menor área se comparadas as folhas de ambientes mais sombreados.

Além disso, Evert (2006) e Cutter (2002) também sugerem que o aumento da intensidade luminosa pode proporcionar o aumento na espessura das folhas, promovendo um incremento na massa foliar específica, no desenvolvimento da epiderme e do parênquima e no número total de células da folha.

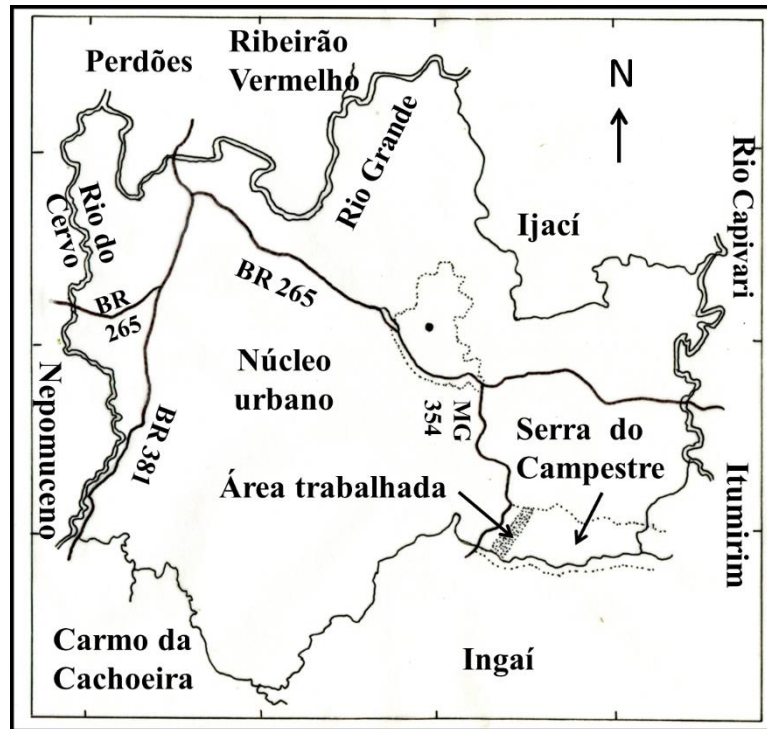
Outras avaliações da anatomia da folha, tais como a densidade de estômatos são essenciais para a compreensão da troca de gases entre a atmosfera e plantas (ZHOU et al, 2012). Estas informações são relevantes, principalmente nos cenários de mudanças climáticas, considerando o aumento das concentrações de dióxido de carbono, bem como outros impactos (JOLY, 2007).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta e fixação**

O material botânico foi coletado em áreas remanescentes de cerrado *stricto sensu* alterado, em fase de recuperação; e campo rupestre, na serra do Campestre (FIGURA 1), localizada no Município de Lavras, nas coordenadas 21°20'00.42" S e 44°58'09.66" O, a uma altitude de 1041 m e 21°20'45" S e 44°58'38.40" O, a uma altitude de 1159 m, respectivamente. O clima é classificado como Cwb, segundo Koeppen, indicando um clima temperado mesotérmico caracterizado por invernos secos e verões amenos. A pluviosidade média anual é de 1400 mm concentrados nos meses de novembro a fevereiro e a temperatura média anual é de 20°C, com máxima 25°C e mínima de 10°C (EPAMIG, 1982).

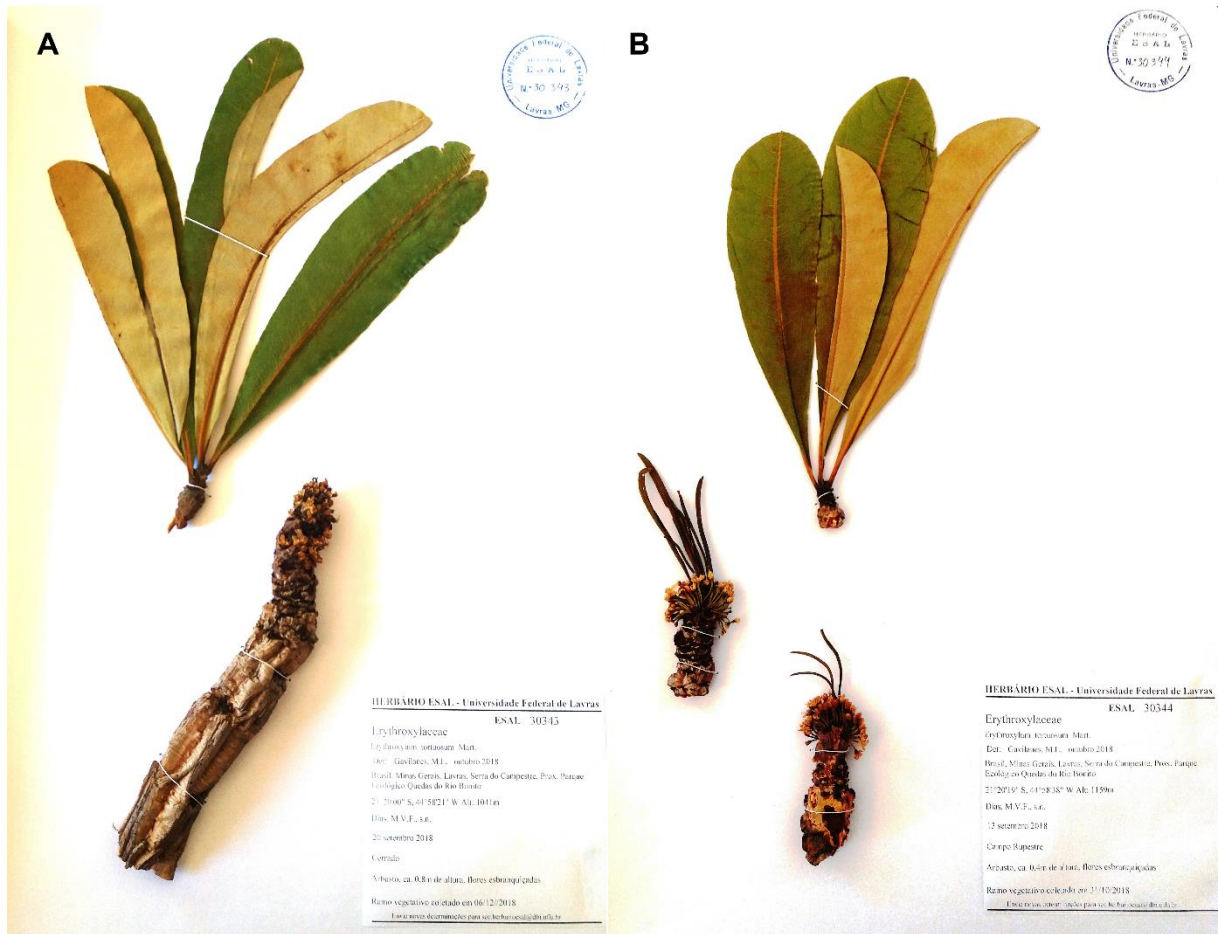
Figura 1: Localização da Serra do Campestre, onde foram realizadas as coletas, no município de Lavras, MG



Fonte: Gavilanes, M. L (2016)

Foram depositados no Herbário ESAL, da Universidade de Lavras, duas exsiccatas, uma de um indivíduo de cerrado (FIGURA 2A) e outra de um indivíduo de campo rupestre (FIGURA 2B), sob os números 30.343 e 30.344, respectivamente. Para a identificação da espécie, foi baseada no trabalho de Loiola (2004) e de exemplares depositados no herbário ESAL (Herbário do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG). Foram coletadas 24 folhas plenamente desenvolvidas, localizadas no terceiro nó, em 12 indivíduos de cada um dos ambientes já citados acima. O material foi fixado em F.A.A.70% (Formol, 5 mL; Ácido acético, 5 mL e álcool etílico 70%, 90 mL) por 72 horas (JOHANSEN, 1940), e posteriormente conservado em álcool 70% (JENSEN, 1962), até a data das análises.

Figura 2: Exsicatas de *Erythroxylum tortuosum* de ambiente de cerrado e campo rupestre



Legenda: A: exsicata de espécime coletado em cerrado; B: exsicata de espécime coletado em campo rupestre.

Fonte: da autora (2019)

### 3.2 Massa e dimensões foliares

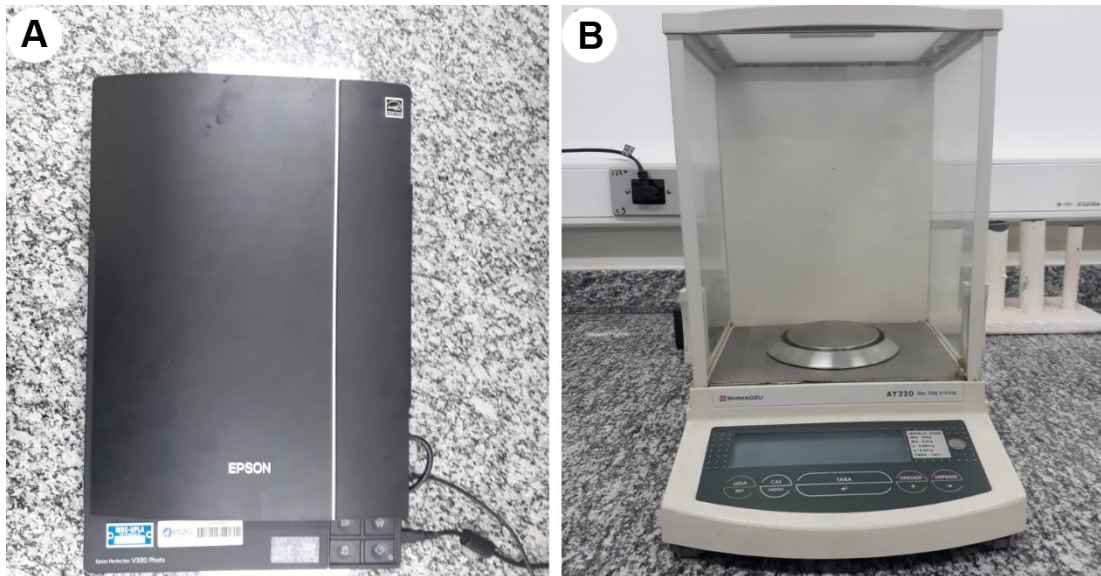
Foi realizada uma análise da massa e dimensões foliares com o objetivo de obter os seguintes dados:

- Massa foliar fresca e seca;
- Comprimento foliar;
- Largura foliar;
- Área foliar

Para a realização das medidas de área, comprimento e largura, foram feitos escaneamentos das folhas utilizando um scanner de mesa Epson, modelo Epson Perfection

V330 Photo (FIGURA 3A). As imagens obtidas foram analisadas utilizando o software ImageJ, calibrado com uma régua também escaneada. Foram feitas três medições para cada folha, uma para comprimento, uma para largura e uma para área, totalizando 24 dados para cada variável.

Figura 3: Equipamentos utilizados para obtenção da massa e dimensões foliares



Legenda: C = scanner de mesa Epson, modelo Epson Perfection V330 Photo; D = balança de precisão Shimadzu, modelo AY220.

Fonte: da autora (2019)

Para obtenção da massa das folhas, utilizou-se uma balança de precisão Shimadzu, modelo AY220 (FIGURA 3B). As folhas foram submetidas a prensa para a secagem. Foram realizadas pesagens diárias até que se obteve massa seca constante, sendo possível a obtenção das massas seca e fresca. Todos os dados obtidos foram anotados e organizados em tabelas para posterior análise.

### 3.3 Nervação Foliar

Para o estudo da nervação foram utilizados fragmentos de folhas fixadas, que vão da nervura primária até o bordo, na região mediana da folha. Estes fragmentos foram diafanizados em solução aquosa de hidróxido de sódio a 5%, solução renovada diariamente até a completa clarificação das folhas. Posteriormente o material foi colocado em solução

aquosa de hipoclorito de sódio a 50% (v.v), até completar a clarificação, e então foi realizada a neutralização com solução aquosa de ácido acético a 5% (HANDRO, 1964).

O material, já clarificado, foi lavado em água destilada, e em seguida em álcool etílico 50% e corado com solução hidroalcoólica de safranina a 1% ou com solução de azul de anilina a 1% acidificada (HANDRO, 1964). Após a coloração as folhas foram montadas entre lâminas de vidro em gelatina glicerinada (ROMAN, 1971). Fragmentos de folhas necessários à observação de maiores detalhes da nervação foram montados entre lâminas de tamanho especial, confeccionadas em lojas de vidro, e lâminas em Bálsamo do Canadá sintético VETEC, após desidratação e diafanização na série álcool-xilol. Foi possível observar e descrever o padrão das nervuras.

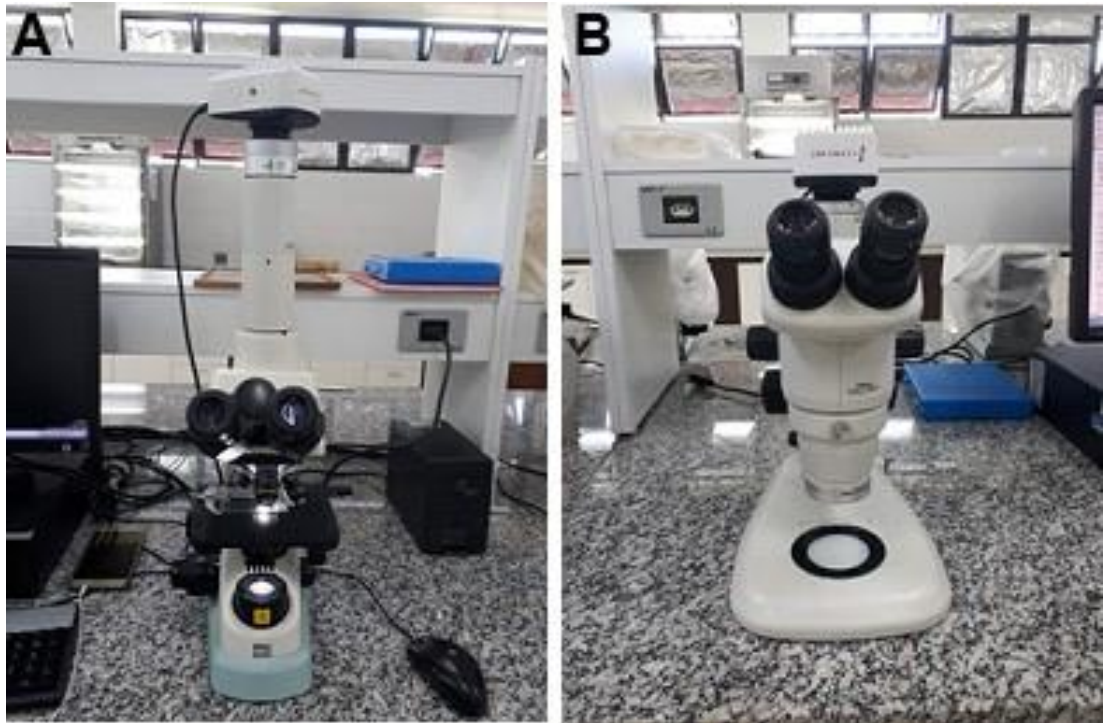
### **3.4 Confeção das lâminas**

Os cortes anatômicos foram feitos a mão livre com o auxílio da lâmina de aço. Para o estudo da epiderme, foram realizados cortes paradérmicos, e posteriormente montados em lâminas semipermanentes em glicerol a 50% em água, utilizando como corante a solução aquosa de safranina a 1% (v:v) (JOHANSEN, 1940). Para os estudos da lâmina foliar, e pecíolo, foram obtidos cortes transversais, montados em lâminas semipermanentes em glicerol a 50% em água, utilizando como corante solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3) (BUKATSCH, 1972; KROPP, 1972).

### **3.5 Microscopia e captura de imagens**

As fotomicrografias foram realizadas em microscópio de luz Nikon, modelo Eclipse E100, (FIGURA 4A) e microscópio estereoscópio (FIGURA 4B), ambos acoplados com câmera de captura Infinity. Os esquemas foram feitos em Microscópio Olympus CBB acoplado com tubo de desenho (câmara clara).

Figura 4: equipamentos utilizados para a análise e obtenção de imagens



Legenda: A = Microscópio de luz Nikon Eclipse E100; B = Microscópio estereoscópico de luz C-LEDS SMZ745T

Fonte: da autora (2019)

### 3.6 Análises anatômicas

#### 3.6.1 Secção paradérmica

A contagem do número de estômatos e suas medidas foram feitas em três regiões: ápice, meio e base da lâmina foliar. Para isso, foram analisadas três lâminas de cada região. Obteve-se dois cortes de cada lado, um corte de cada lado da nervura, totalizando 144 cortes para cada ambiente.

A partir da observação das lâminas, foi possível obter os seguintes dados:

- Densidade estomática (número de estômatos por  $\text{mm}^2$ ) em cada uma das regiões, bem como a média da folha;
- Diâmetro polar médio em cada uma das regiões (DP), bem como a média da folha;
- Diâmetro equatorial médio (DE), bem como a média da folha.

### 3.6.2 Secção transversal

Para a análise dos tecidos internos, foi obtida uma lâmina para cada indivíduo, totalizando 24 observações para cada ambiente.

Foram observados:

- Espessura da cutícula (da face adaxial e abaxial);
- Espessura da epiderme (da face adaxial e abaxial);
- Espessura do parênquima paliçádico
- Espessura do parênquima lacunoso;
- Espessura do mesofilo;
- Espessura da lâmina foliar.

### 3.7 Análises Estatísticas

Os valores obtidos pelas medições da estrutura anatômica e das dimensões foliares foram, inicialmente, agrupados em tabelas. Estes dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade e teste Levene para homogeneidade de dados, e a seguir ao teste T para dados paramétricos e de Mann Whitney para os dados não paramétricos com 0,05% de significância. Foi utilizado o software R para a realização das análises. Em seguida foram criadas tabelas comparativas entre os ambientes para cada uma das variáveis utilizando as médias e os desvios padrões.

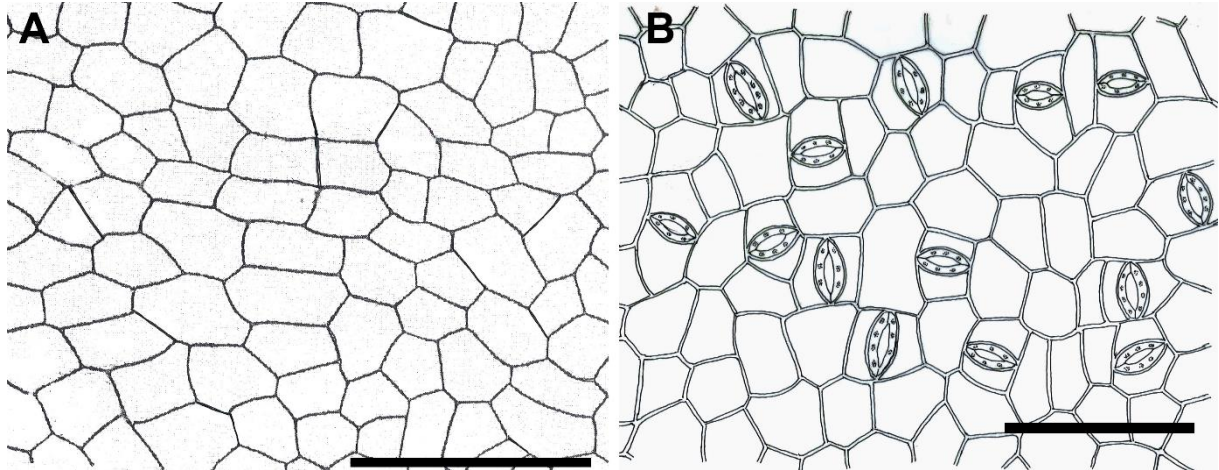
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Descrição anatômica da folha

A epiderme, quando observada em corte paradérmico, é glabra, com células poligonais de formato irregular, em maior tamanho na face adaxial, com estômatos apenas na face abaxial, presentes apenas nas regiões internervurais e classificados como paracíticos, de acordo com a classificação de Metcalf e Chalk. E quando vista em corte transversal, é unisseriada, e bisseriada em alguns pontos, observação também feita por Bieras e Sajo (2004), com células de formatos e tamanhos irregulares, tendendo ao formato poliédrico, com paredes

anticlinais sem sinuosidades. As células estomáticas, quando observadas no plano transversal situam-se no mesmo nível das demais células epidérmicas (FIGURA 7).

Figura 5: Representação da epiderme de *Erythroxylum tortuosum*



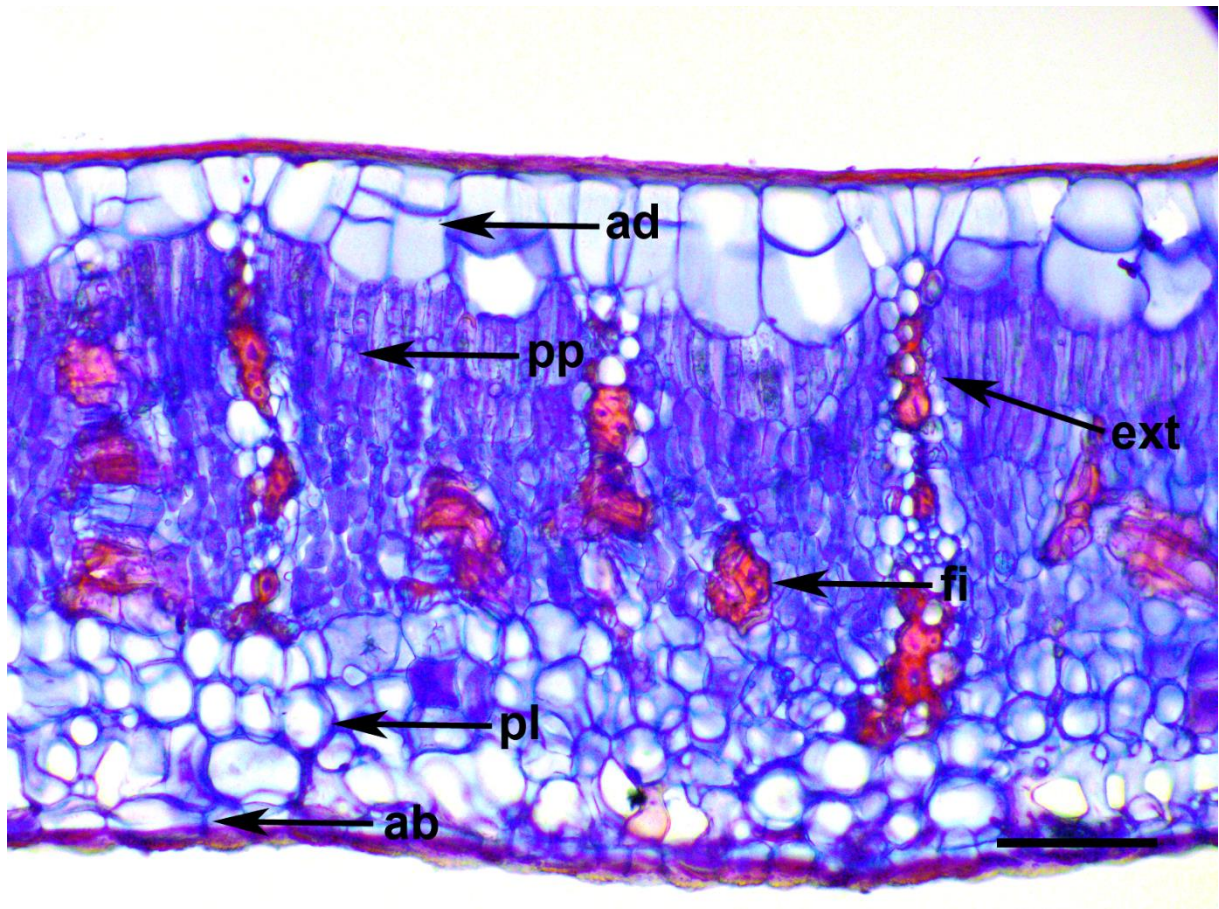
Legenda: A: epiderme adaxial; B: epiderme abaxial (Escala: 100  $\mu$ m)

Fonte: da autora (2019)

O mesofilo é do tipo dorsiventral, com parênquima paliçádico constituído de uma a três camadas celulares células cilíndricas, alongadas, estreitas, justapostas, com poucos espaços intercelulares, quando observado em secção transversal. O parênquima esponjoso apresenta 3-6 camadas de células que variam o formato de globoso a irregular, próximo a epiderme abaxial (FIGURA 8). Bieras e Sajo (2004), ao estudar espécies do gênero, encontrou uma razão PP/PL de 50%, a presença de cristais e extensão de bainha. Nas plantas das áreas coletadas, foi observado uma razão PP/PL de aproximadamente 66% tanto para cerrado, quanto para campo rupestre, a presença de extensão de bainha apenas na face adaxial e não foram observados cristais.



Figura 6: Corte transversal do mesofilo de *Erythroxylum tortuosum*

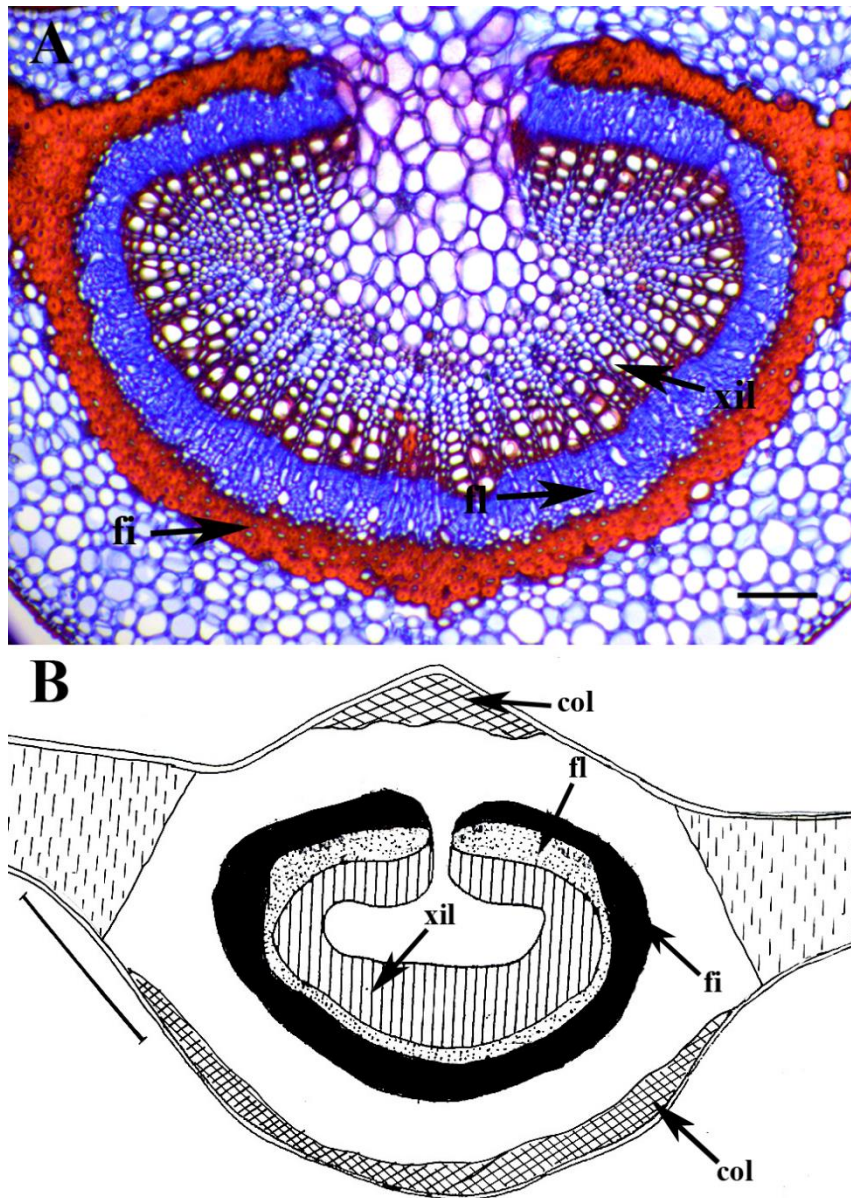


Legenda: ad: epiderme adaxial; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; ab: epiderme abaxial (Escala: 100 µm – ep ada = epiderme adaxial, pp = parênquima paliçádico, pl = parênquima lacunoso, ep aba = epiderme abaxial, fi = fibras, ext = extensão de bainha).

Fonte: da autora (2019)

As faces adaxial e abaxial da epiderme que revestem a nervura mediana são glabras, desprovidas de estômatos e possuem formato arredondado. A epiderme adaxial apresenta células maiores em relação à epiderme abaxial. Logo abaixo da epiderme, ocorre algumas camadas de colênquima (FIGURA 9B). O parênquima fundamental é composto de células de tamanhos variados, de contorno arredondado, com pequenos espaços intercelulares (FIGURA 9A). O sistema vascular é bem denso, aberto e em forma de arco, formando uma “ferradura”, com bordas laterais achatadas, presença de apenas um feixe vascular, do tipo colateral e calotas de fibras na face externa do floema (FIGURA 9A).

Figura 7: Corte transversal da nervura central da folha de *Erythroxylum tortuosum*

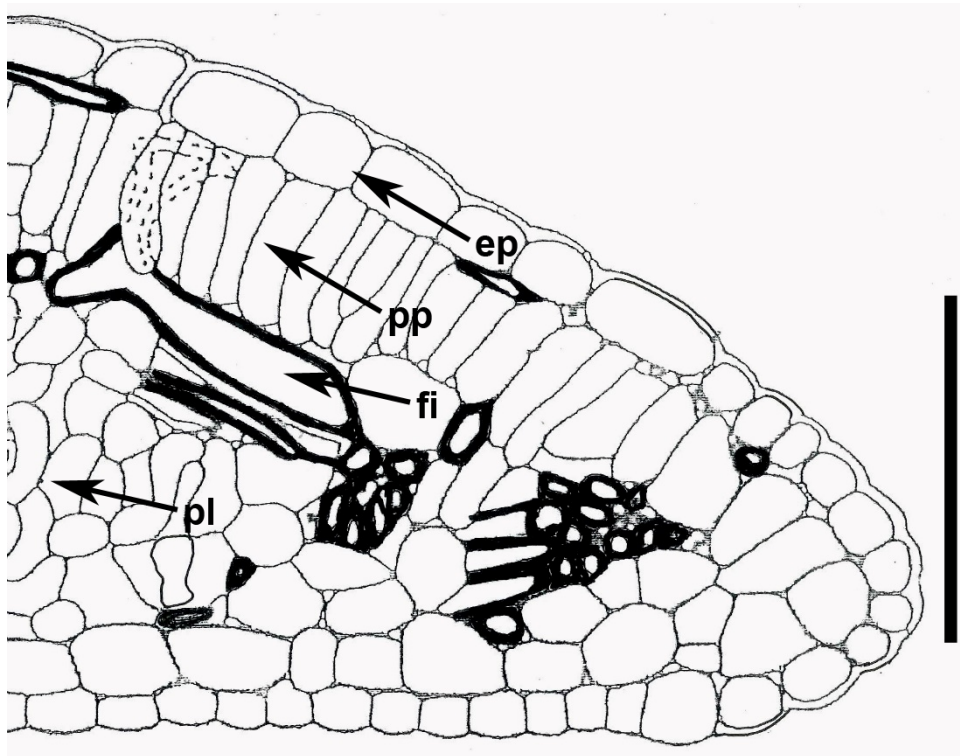


Legenda: A: corte transversal da nervura central de *Erythroxylum tortuosum* Mart.; B: esquema da nervura central de *Erythroxylum tortuosum* Mart. (Escala: A: 150  $\mu\text{m}$ ; B: 500  $\mu\text{m}$  – col = colênquima, fl = floema, fi = fibra, = xil = xilema).

Fonte: da autora (2019)

A epiderme que reveste o bordo é desprovida de estômatos, com células epidérmicas em formato retangular a arredondado, que vão diminuindo a medida que se aproxima do bordo. Abaixo da epiderme, os parênquimas paliádico e lacunoso se encontram ao bordo, com células mais arredondadas, tendendo ao formato poliédrico, com poucos espaços intercelulares. É possível notar, ainda, a presença de fibras espalhadas pelo mesofilo (FIGURA 10).

Figura 8: Esquema do bordo foliar de *Erythroxylum tortuosum*

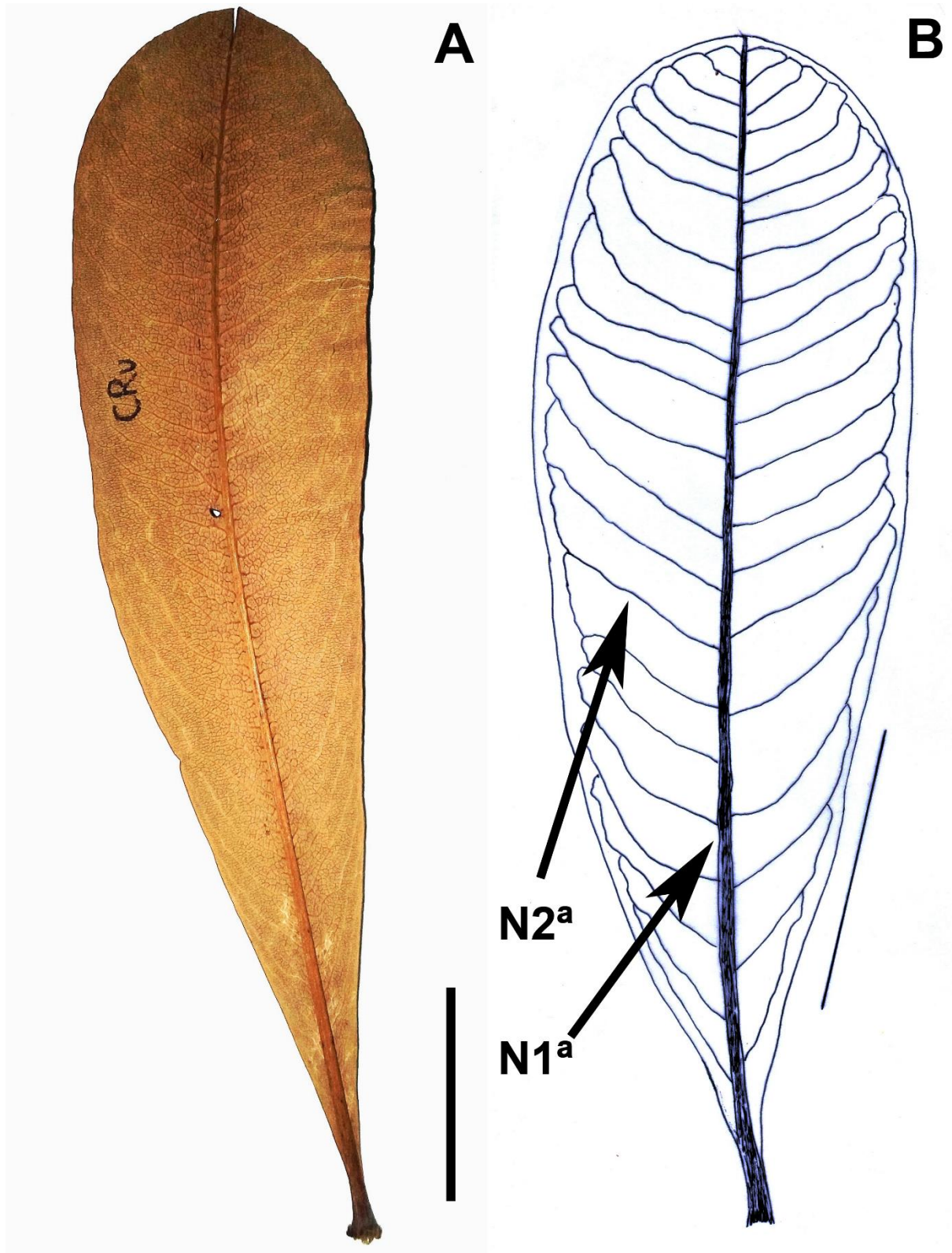


Legenda: ep: epiderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima esponjoso, fi: fibras (escala: 100  $\mu\text{m}$ )

Fonte: da autora (2019)

Observou-se que o padrão geral da nervação é do tipo pinado camptódromo, broquidódromo, com lâmina do tipo ovada e a base ligeiramente assimétrica (FIGURA 11).

Figura 9: Folha de *Erythroxylum tortuosum*

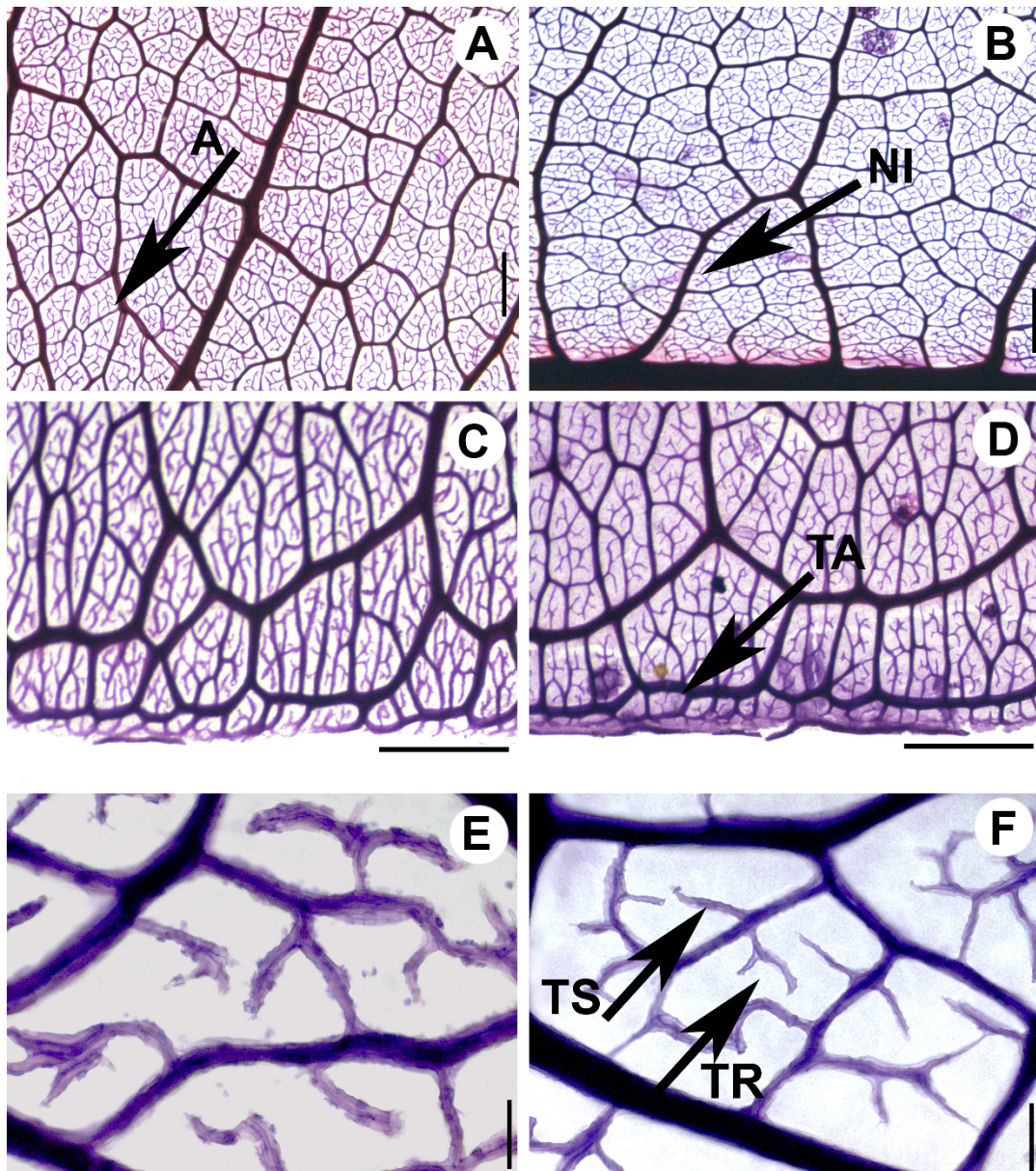


Legenda: A: folha de campo rupestre de *E. tortuosum*; B: Esquema do padrão de nervação primária e secundária em *E. tortuosum*. secundária (Escala: 5 cm - N1ª = nervura primária, N2ª = nervura secundária)

Fonte: da autora (2019)

A nervura primária é nítida, mediana, afilando-se em direção ao ápice, possui um curso retilíneo e sem ramificações (FIGURA 11). As nervuras secundárias são alternas e ascendentes, com ângulo de divergência agudo, espessura moderada e curso levemente curvado na base (FIGURA 11), com nervuras intersecundárias simples ou compostas são frequentes (FIGURA 12B). As nervuras terciárias são visíveis na folha verde. As nervuras quaternárias apresentam curso relativamente ao acaso e a nervação próxima ao bordo é em forma de arcos (FIGURA 12D), também observados por Bieras e Sajo (2004). As nervúculas são simples e ramificadas (FIGURA 12F) e as aréolas são bem desenvolvidas, tendendo ao formato poliédrico (FIGURAS 12A).

Figura 10: Aspecto das nervuras de folhas de *Erythroxylum tortuosum* coletadas em ambiente cerrado e campo rupestre



Legenda: A: detalhe das nervuras secundárias e terciárias em folhas diafanizadas de cerrado; B: detalhe das nervuras secundárias e terciárias em folhas diafanizadas de campo rupestre; C: bordo foliar de cerrado; D: bordo foliar de campo rupestre; E: Detalhes das aréolas e nervúculas em folhas de cerrado; F: Detalhes das aréolas em folhas de campo rupestre (Escala: A, B, C e D: 1000  $\mu\text{m}$ ; E e F: 100  $\mu\text{m}$  – A=aréola, NI= nervura intersecundária, TA= terminação em arco, TS= terminação simples, TR= terminação ramificada).

Fonte: da autora (2019)

Beiguelman (1963) ao estudar a espécie *Erythroxylum suberosum* St Hill. e Bieras e Sajo (2004) ao estudar espécies de *Erythroxylum*, encontraram resultados semelhantes. Os autores ainda ressaltaram o arco aberto do feixe vascular do pecíolo, bordo foliar acuminado e epiderme biestratificada.

#### 4.2. Massa e dimensões foliares

As folhas coletadas em plantas de cerrado apresentaram área, largura e comprimento maior que as folhas de campo rupestre (TABELA 2). As análises estatísticas apontam diferenças significativas entre os dois ambientes em todas as variáveis analisadas. Lee et al (1996) explica que a maior área em folhas expostas a irradiância está relacionada com o aumento da superfície receptora da luz, e geralmente, estas alterações têm por objetivo aumentar a captação da luz incidente, e aumentar a eficiência fotossintética da planta (GOBBI, et al, 2011). Além disso, a diminuição do tamanho das folhas reduz a camada de ar em contato com a folha permite maior perda de calor para o ambiente, por convecção, exigindo menos transpiração para resfriar a folha (POOTER, 1999).

Tabela 1: Área, comprimento e largura das folhas de *Erythroxylum tortuosum* em ambiente de cerrado e campo rupestre.

	Cerrado	Campo Rupestre
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	74,15 (±15,44) a	50,29 (±13,41) b
Comprimento (cm)	22,34 (±2,57) a	19,87 (± 1,70) b
Largura (cm)	5,24 (±0,50) a	4,77 (±0,50) b

As médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney para  $p \leq 0,05$

Fonte: da autora (2019)

O campo rupestre é caracterizado por vegetação rasteira e ambientes abertos, sujeitos a maior radiação incidente e possui solos mais pobres e período seco (ALVES et al., 2014). Já o cerrado pode conter vegetação arbórea abundante (NETTESHEIM et al., 2010), o que promove maior sombreamento nas folhas das plantas deste ambiente, tornando-o um ambiente mais favorável (ALVES et al., 2014). De acordo com Kubinová (1991), folhas desenvolvidas em ambientes com maior radiação apresentam menor área em comparação a folhas mais sombreadas. Gavilanes et al. (2016), encontraram resultados semelhantes ao estudar folhas de *Palicourea rígida* Kunth (Rubiaceae) e concluíram que as maiores médias observadas para as características foliares nas plantas de cerrado podem ser atribuídas a características ambientais menos inóspitas que levaram a formação de folhas maiores e mais funcionais em comparação com o campo rupestre.

Os dados obtidos apontam que folhas de cerrado apresentam maior massa foliar em relação às folhas de campo rupestre, tanto em material fresco como material seco (TABELA 3). Isto ocorre, possivelmente, devido a influência da espessura e área da lâmina foliar, que é maior nas folhas de cerrado. De uma maneira geral, por serem órgãos plásticos, variam em área e massa fresca e seca, quando se desenvolvem em ambientes com diferentes intensidades luminosas e de acordo com a disponibilidade de recursos locais, como água e nutrientes (GONÇALVES et al, 2005; BOEGER et al, 2008).

Tabela 2: Massa das folhas de *Erythroxylum tortuosum* em ambiente de cerrado e campo rupestre

	Cerrado	Campo Rupestre
Massa material fresco (gramas)	3,06 ± (0,83) a	2,39 ± (0,61) b
Massa material seco (gramas)	2,02 ± (0,74) a	1,45 ± (0,40) b

As médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney para  $p \leq 0,05$

Fonte: da autora (2019)

### 4.3. Anatomia Quantitativa da folha

Há maior quantidade de estômatos em folhas de campo rupestre do que em folhas cerrado (TABELA 4). Para Krupek e Lima (2012) algumas características, tais como a menor densidade estomática, são comuns a plantas adaptadas a regiões com menos disponibilidade de energia luminosa. Feild et al (2001) explicam que folhas que recebem menos luz possuem células epidérmicas maiores, e este fato está diretamente relacionado com o número de estômatos por unidade de área.

Outro fator que pode explicar a maior densidade estomática nas folhas de campo rupestre é a altitude. A diferenciação de estômatos é geneticamente determinada e sofre influências de alguns fatores ambientais, como a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, temperatura, luminosidade (LI et al, 2006; ZHOU et al, 2008). Kouwenberg et al (2007) explica que, além destes fatores acima sofrerem alterações com a altitude, a redução da pressão atmosférica tem um importante papel no aumento da densidade estomática, porque ela é alterada de uma forma que não depende das condições microclimáticas em cada ambiente.



Tabela 3: Modificações nas características estomáticas de *Erythroxylum tortuosum* em ambiente de cerrado e campo rupestre

Características	Cerrado	Campo Rupestre	Teste
Densidade estomática (mm <sup>2</sup> )	248 (±65) a	303 (±67) b	(*)
Densidade estomática (ÁPICE) (mm <sup>2</sup> )	261 (±63) a	323 (±67) b	(*)
Densidade estomática (MEIO) (mm <sup>2</sup> )	244 (±54) a	299 (±76) a	(*)
Densidade estomática (BASE) (mm <sup>2</sup> )	238 (±76) a	287 (±52) a	(**)
Diâmetro Polar (µm)	29,983 (±3,433) a	27,988 (±3,216) b	(*)
Diâmetro Polar ÁPICE (µm)	30,751 (±3,773) a	27,897 (±2,785) b	(*)
Diâmetro Polar MEIO (µm)	29,569 (±3,443) a	27,602 (±3,413) a	(*)
Diâmetro Polar BASE (µm)	29,631 (±3,059) a	28,567 (±3,480) a	(*)
Diâmetro Equatorial (µm)	19,516 (±3,048) a	17,599 (±1,937) b	(**)
Diâmetro Equatorial ÁPICE (µm)	19,403 (±3,128) a	16,946 (±2,786) b	(**)
Diâmetro Equatorial MEIO (µm)	18,745 (±2,894) a	17,835 (±3,413) a	(**)
Diâmetro Equatorial BASE (µm)	20,401 (±3,011) a	18,018 (±3,481) b	(**)

As médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste T para  $p < 0,05$  (\*) ou de Mann-Whitney (\*\*)

Fonte: da autora (2019)

O aumento da densidade estomática pode estar relacionado, ainda, com maior capacidade das plantas de captarem CO<sub>2</sub> da atmosfera e, desta forma, aumentar a eficiência fotossintética (CASTRO et al, 2009). Batagin et al. (2009) ainda complementa, que sob condições de sombreamento as folhas apresentam maior densidade estomática para manter o influxo de CO<sub>2</sub> necessário, evitando que em condições de baixa luminosidade a fotossíntese seja limitada. As folhas coletadas em campo rupestre apresentaram ainda diâmetros polar e equatorial menores em relação as folhas de cerrado. Dörken e Lepetit (2018) explicam que estômatos menores auxiliam na perda de água, promovendo um melhor controle estomático (TABELA 5).

Analisando a epiderme, observou-se que houve diferenças apenas na epiderme adaxial, que foi maior no campo rupestre; e nas cutículas, que tanto na face adaxial como na abaxial tiveram maiores médias no cerrado. De acordo com Esaú (1974) e Dickison (2000), os fatores ambientais podem influenciar a espessura e a composição da cutícula, que por sua vez desempenham importante papel na redução da perda de água, impermeabilização e reflexão

dos raios solares, características que aumentam proporcionalmente com o aumento da altitude, como observado através dos dados comparados entre cerrado e campo rupestre (TABELA 6).

Tabela 4: Espessura das epidermes e cutículas das faces adaxial e abaxial das folhas de *Erythroxylum tortuosum* em ambiente de cerrado e campo rupestre

	Cerrado	Campo Rupestre	Teste
Epiderme adaxial	75,589 ( $\pm$ 13,199) a	56,707 ( $\pm$ 13,854) b	(*)
Cutícula adaxial	6,214 ( $\pm$ 1,526) b	7,988 ( $\pm$ 2,592) a	(**)
Epiderme abaxial	14,948 ( $\pm$ 3,050) a	14,270 ( $\pm$ 2,147) a	(**)
Cutícula abaxial	6,549 ( $\pm$ 1,438) b	7,895 ( $\pm$ 2,190) a	(*)

As médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste T para  $p < 0,05$  (\*) ou de Mann-Whitney (\*\*)

Fonte: da autora (2019)

Foram observados modificações na espessura dos tecidos da lâmina foliar e do mesofilo, com as folhas do cerrado apresentando, estatisticamente, maior média em relação às folhas de campo rupestre (TABELA 6). A diminuição da espessura da lâmina foliar nas folhas de campo rupestre, pode favorecer a difusão de CO<sub>2</sub> nas folhas pela diminuição das rotas que este gás percorre até os cloroplastos (CRUZ, et al., 2012). A principal entrada de CO<sub>2</sub> nas folhas durante a fotossíntese são os estômatos, e após sua entrada o CO<sub>2</sub> precisa se difundir através do mesofilo até encontrar cloroplastos. Cada parte desta rota oferece resistência para a difusão deste gás, e as principais são: resistência da camada limítrofe, resistência estomática, resistência nos espaços intercelulares e resistência da fase líquida (TAIZ; ZEIGER, 2009).

No geral, as plantas expostas a maior radiação possuem lâmina foliar mais espessa, porém neste caso, as plantas de cerrado, expostas a maior radiação em relação as de campo rupestre, apresentaram estas características.

Tabela 5: Modificações na estrutura foliar de *Erythroxylum tortuosum* em ambiente de cerrado e campo rupestre.

	Cerrado	Campo Rupestre	Teste
Lâmina foliar	445,022 ( $\pm$ 40,144) a	332,990 ( $\pm$ 41,957) b	(**)
Mesofilo	335,731 ( $\pm$ 40,585) a	239,500 ( $\pm$ 39,881) b	(*)
Parênquima paliçádico	126,553 ( $\pm$ 19,548) a	93,727 ( $\pm$ 18,219) b	(*)
Parênquima lacunoso	192,213 ( $\pm$ 37,674) a	144,130 ( $\pm$ 29,937) b	(*)

As médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste T para  $p < 0,05$  (\*) ou de Mann-Whitney (\*\*)

Fonte: da autora (2019)

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que a espécie *Erythroxylum tortuosum* Mart. (Erythroxylaceae) apresenta plasticidade em sua morfologia quando ocorre em diferentes ambientes. Conclui-se ainda que a espécie apresenta respostas para compensar diferenças nas condições ambientais. Estas respostas apontam que mudanças morfológicas tem ligação com o ambiente em que vivem, permitindo maior adaptação do vegetal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. J. V. et al. Circumscribing campo rupestre – megadiverse Brazilian rocky montane savanas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 355-362, maio-2014.

AMARAL Jr., A. **O gênero *Erythroxylum* no município de Botucatu, São Paulo**. 1973. Botucatu, Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1973.

ASSUNÇÃO, S.L. & FELFILI, J.M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 18, p. 903-909, 2004.

AZEVEDO, A. **Brasil: a terra e o Homem – As bases físicas**. São Paulo: Editora Nacional, v.2, 1972.

BATAGIN, K. D.; ALMEIDA, C. V. D.; TANAKA, F. A. O.; ALMEIDA, M. D. Alterações morfológicas foliares em abacaxizeiros cv. IAC “Gomo de Mel” micropropagados e aclimatizados em diferentes condições de luminosidade. **Acta Botânica Brasilica**. São Paulo, v.23, p.85-92, 2009.

BEIGUELMAN, B. Considerações sobre a morfologia dos estomas de *Annona coriacea* Mart., *Byrsonima coccolobifolia* Kunth., *Erythroxylum suberosum* St. Hil. e *Ouratea Spectabilis* (Mart.) Eng. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 114-124, 1962.

BIERAS, A.C.; SAJO, M. G. Anatomia foliar de *Erythroxylum* P. Browne (Erythroxylaceae) do Cerrado do Estado de São Paulo, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.18, n.3, p. 601-612, 2004.

BIERAS, A. C.; SAJO, M. G. Ontogenia foliar de três espécies de *Erythroxylum* P. Browne (Erythroxylaceae) ocorrentes no Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 27, n.1, p. 71-77, jan-mar. 2004.

BOEGER, M. R. T.; ESPÍNDOLA Jr, A.; MACCARI Jr.; REISSMAN, C. B. ALVES, A. C. A.; RICKLI, F. L. Variação estrutural foliar de espécies medicinais em consórcio com erva-mate, sob diferentes intensidades luminosas. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.215-225. 2009.

BOHM, B. A.; GANDERS, F. R.; PLOWMAN, T. Biosystematics and evolution of cultivated coca (Erythroxylaceae). **Systematic Botany**. v. 2, n. 2 p. 121-133, 1982.

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advances in Genetics**. Nova York, v. 13, p.115- 155, 1965.

BRANDÃO, M.; CARVALHO, P.G. da S. Guia Ilustrado de plantas do Cerrado. Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p. 11-20, 1993.

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos**, v. 61, p.255. 1972.

CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; MÜLLER, M. D.; NASCIMENTO Jr, E. R. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em Sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.60, p.19-25, 2009.

CRUZ, B. P.; CASTRO, E. M.; CARDOSO, M. G.; SOUZA, K. F.; MACHADO, S. M. F.; POMPEU, P. V.; FONTES, M. A. L. Comparison of leaf anatomy and essential oils from *Drimys brasiliensis* Miers. in a montane cloud forest in Itamonte, MG. Brazil. **Botanical Studies**. London. n. 55, v. 51, 2014.

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: órgãos. 2. ed. São Paulo: Roca, 304 p, 2002.

DALY, D. Erythroxylaceae. In: SMITH, N. et al. (Ed). **Flowering plants of Neotropics**. New York: Princeton University, p. 143-145, 2004.

DICKISON, W.C. 2000 - Integrative Plant Anatomy. Academic Press, USA, 533 p.

DÖRKEN, V. M.; LEPETIT, B. Morpho-anatomical and physiological differences between sun and shade leaves in *Abies alba* Mill. (Pinaceae, Coniferales): a combined approach. **Plant, Cell and Environment**. Oxford. v. 41, p. 1683-1697, 2018.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. 2 ed. Brasília: UNB, p. 569–583, 1993

EPAMIG, UNENET; UFV. **Atlas Climatológico do Estado de Minas Gerais**. EPAMIG: Belo Horizonte, 1982.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E. Blucher; Edusp, 1974. 293p.

ESGARIO, C.P.; RIBEIRO, L.F.; SILVA, A.G. O Alto misterioso e a vegetação sobre rochas em meio à Mata Atlântica, no sudeste do Brasil. **Natureza on line**, v. 6, n. 2, p. 55-62, 2008. Disponível em: <<http://www.naturezaonline.com.br>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

EVANS, W. C. The comparative phytochemistry of the genus *Erythroxylon*. **Journal of Ethnopharmacology**. Lausana, v.3, p. 265-277, 1981.

EVERT, R. F. **Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development**. 3. Ed. Hoboken. John Wiley & Sons, 2006.

FEILD, T.S.; BRODRIBB, T.; JAFFRÉ, T.; HOLBROOK, N. M. Acclimation of leaf anatomy photosynthetic light use, and xylem hydraulics to light in *Amborella trichopoda* (Amborellaceae). **International Journal of Plant Science**, v.162, n.5, p.999-1008. 2001.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Biogeografia do bioma cerrado: estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão mestre do São Francisco. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Brasília. 2001.

FELLER, I.C. Effects of nutrient enrichment on leaf anatomy of dwarf *Rhizophora mangle* L. (red mangrove). **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 13-22, 1996.

FERNANDES, G. N. The megadiverse Rupestrian Grassland. In: \_\_\_\_\_. (Org). **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**. Belo Horizonte: Springer, p. 3-14, 2016

FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: FERRI, M.G. (coord). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: bases para a utilização agropecuária, 4, São Paulo, 1977. **Anais... USP**, p. 15-36, 1977

GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M.; PIRES, M. F.; PEREIRA, F. J.; PEREIRA, M. P. Micromorfometria foliar de *Palicourea rigida* Kunth. (Rubiaceae) em ambiente de cerrado e campo rupestre. **Cerne**, Lavras, v.22, n.2, p.163-170, 2016.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P.; WANDERLEY, M. G. L.; PIRANI, J. R. 2000. Caracterização e endemismos nos Campos Rupestres da Cadeia do Espinhaço. In: CAVALVANTI, T. B.; WALTER, B. M. T. (eds). **Tópicos atuais em Botânica**. Brasília: SBB/Embrapa, p. 311-318, 2000

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; GARCÉZ NETO, A. F.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v.40, n.7, p.1436-1444. 2011.

GONÇALVES, J. F. C.; VIEIRA, G.; MARRENCO, R. A.; FERRAZ, J. B.; JUNIOR, U. M. dos S.; BARROS, F. C. Nutritional status and specific leaf area of mahogany and tonka beans under two light environments. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 23-27, 2005.

HANDRO, W. Contribuição ao estudo da venação e anatomia foliar das amarantáceas dos Cerrados. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 4, p. 479-499, dez. 1964.

HEGNAUER, R. Chemotaxonomy of erythroxylaceae (including some ethnobotanical notes on old world species). **Journal of Ethnopharmacology**. v. 3, p. 279-292. 1981.

JENSEN, W.A. **Botanical Histochemistry: principles and practice**. San Francisco: W.H. Freeman, 1962. 408p.

JOLY, C. A. Biodiversidade e mudanças climáticas: contexto evolutivo, histórico e político. **Ambient Soc**. v.10, p. 169–172, 2007

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523p.

KOUWEMBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; MCELWAIN, J. C. Stomatal frequency change over altitudinal gradients: prospects for paleoaltimetry. **Rev Mineral Geochem**, McLean, v.66, p.215–241, 2007.

KROPP, U. Leitbündel. **Mikrokosmos**, v.61, p. 342-345. 1972.

KRUPEK, R. A.; LIMA, A. G. Variação na estrutura foliar de guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg.) sob diferentes condições de luminosidade em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 293-305, 2012.

KUBÍNOVÁ, L. Stomata and mesophyll characteristics of barley leaf as affected by light: stereological analysis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 8, p. 995-1001, may 1991.

LEE, D. W.; BASKARAN, K.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Irradiance and spectral quality affect Asian tropical rain forest tree seedling development. **Ecology**, Washington DC. v.77, p.568-580, 1996.

LI, C.; ZHANG, X.; LIU, X.; LUUKKANEN, O.; BERNINGER, F. (2006) Leaf morphological and physiological responses of *Quercus aquifolioides* along an altitudinal gradient. **Silva Fenn**, v.40, p.5-13, 2006.

LINDORF, H. Wood and leaf anatomy in *Sessea corymbiflora* from an ecological perspective. **IAWA Journal**. v. 18, n. 2, p.157-168. 1997.

LOIOLA, M.I.B. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais: Erythroxylaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**. São Paulo, v.22, n.2, p.101-108. 2004.

LOIOLA, M. I. B. **Revisão taxonômica de *Erythroxylum P. Browne* Sect. *Rhabdophyllum O. E Schulz* (*Erythroxylum Kunth*)**. 2001. 247 p. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 2001.

MAGALHÃES, G. M. Contribuição ao estudo fitogeográfico das Velloziaceae em Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 4, 1953. Recife, PE. **Anais...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, p. 32-40, 1953

MENDONÇA, J. O., AMARAL Jr, A. Erythroxylaceae. In: WANDERLEY, M.G.L.; GIULIETTI, A.M., MELHEM, T.S., BITTRICH, V., KAMEYAMA, C. (Org). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, São Paulo, v.2, p107-120. 2002.

MENEZES, N. L.; SILVA, D. C.; PINNA, G. F. A. M. Folha. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Org). **Anatomia vegetal**. Viçosa. Ed. UFV, p. 281-301, 2013.



METCALFE, C. R. Anatomy of the Dicotyledons: I., systematics anatomy of leaf and stem, with a brief history of the subject. Oxford: Clarendon, 275 p, 1979.

MIYAZAWA, S. I.; LIVINGSTON, N. J.; TURPIN, D. H. Stomatal development in new leaves is related to the stomatal conductance of mature leaves in poplar (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*). **Journal of Experimental Botany**, vol. 57, p. 373-380, 2006.

MMA. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado: Conservação e Desenvolvimento. Brasília, 2010.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NIINEMETS, U.; SACK, L. Structural determinants of leaf light harvesting capacity and photosynthetic potentials. In: ESSER K.; LÜTTGE U. E.; BEYSCHLAG W.; MURATA J. Progress in Botany, Berlin: **Springer Verlag**. p.385–419, 2006.

NETTESHEIM, F.C.; CARVALHO, D. C.; FONSECA, C. C.; NUNES, R. S.; CAVALCANTI, D. M.; GABRIEL, M. M.; MENEZES, L. F. T. Estrutura e florística do estrato arbóreo no cerrado sensu stricto de Buritis, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 4, p. 731-747, 2010.

OLIVEIRA, S. L.; SILVA, M. S.; TAVARES, J. F.; SENA-FILHO, J. G.; LUCENA, H. F. S.; ROMERO, M. A. V. & BARBOSA-FILHO J. M. “Tropane alkaloids from *Erythroxylum* genus: distribution and compilation of <sup>13</sup>C-NMR spectral data”. **Chem. Biodivers.** p. 7-303, 2010.

PLOWMAN, T.C.; BERRY, P.E. Erythroxylaceae. In: J. Steyermark; P. Berry; B. Holst & K. Yatskievych (eds.). **Flora of the Venezuelan Guayana**, v. 5, p. 59-71. St. Louis, Missouri Botanical Garden Press. 1999.

PEARSE, A. G. E. Métodos histoquímicos – Lipídios. In: VENTRELLA, M. C. et al. **Métodos histoquímicos aplicados às sementes**. Viçosa, MG: UFV, 2013, p10.

PEREIRA, J. A. R. **Classificação dde vegetação dos cerrados por meio de componentes principais de uma imagem Landsart-TM**. 1993. 46 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

POOTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Funct. Ecol**, London. v.13, p.396-410, 1999.

QIANG, L.; LONG-JIANG, Y.; YAN, D.; WEI, L.; MAO-TENG, L.; JIAN-HUA, C. Leaf epidermal characters of *Lonicera japonica* and *Lonicera confuse* and their ecology adaptation. **Journal of Forestry Research**, Londres, v.18, n.2, p.103-108, 2007.

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M.R.; PROCOPIO, L. C. Flora da reserve Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firma na Amazônia Central. Manaus: IMPA; 1999.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fotofisionomias de bioma cerrado. Ln> SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Ed Embrapa CPAC. p. 85-166, 1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. p. 151-212.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: HUCITEC/ EDUSP, v.3, 374p, 1979.

RÔÇAS, G.; BARROS, C.F.; SCARANO, F.R. Leaf anatomy of *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) under distinct light regimes in a Brazilian montane Atlantic rain forest. **Trees**v. 11, p. 469-473, 1997.

ROMAN, B. **Tejidos vegetales**. Madrid: Brunõ, 1971. 61 p.

ROMERO, R. Diversidade da flora dos Campos Rupestres de Goiás, Sudoeste e Sul de Minas Gerais. In: ARAÚJO, E. L. et al. (Ed.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: UFPE, p. 81-86, 2002

SILVA, L. **Desenvolvimento da antera e do grão de pólen em espécies de *Erythroxylum P. Browne* (Erythroxylaceae)**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado em Botânica Aplicada) – Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. 3. Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 768 p, 2012

SPURR, S. H.; BARNES, B. V. Forest tree variability and diversity. In: Forest Ecology. Ronald Press Company, New York, 2nd ed., p. 15-54. 1973.

SREELAKSHMI, V. V.; et al. Relationship between the leaf área and taxonomic importance of foliar stomata. **International Journal of Research in Applied, Natural and Social Science**, Tamil Nadu, v.2, n.7, p.53-60, 2014.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREN, A.; CROUZEILLES, R. LOYOLA, R.; LATAWIEK, A. E.; OLIVEIRA-FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of Truth for Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**. n.99, v.1, mar-2017.

TAIZ L.; ZEIGER. E. Fisiologia vegetal, 4th ed. Artmed, Porto Alegre, pp 234–239, 2009.

VASCONCELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v.34, n.2, p. 241-246. 2011.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 124 p, 1991.

VIA, S.; LANDE, R. Genotype-environment interations and the evolution and the evolution of phenotypic plasticity. **Evolution**, New Jersey. v. 39, n.3, p. 505-522, 1985.

VITTA, F. Diversidade e conservação da flora nos campos rupestres da cadeia do Espinhaço em Minas Gerais. In: ARAÚFO, E. L. et al. (Ed.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: UFPE, p. 90-94, 2000.

ZHOU, Y.; SCHAUB, M.; SHI, L.; GUO, Z.; FAN. A.; YAN, C.; WANG, X.; WANG, C.; HAH, S. J.; LI, M. H. Non-linear response of stomata in *Pinus koraiensis* to tree age and elevation. **Trees**. V. 26, p. 1389–1396, 2012.

ZUANAZZI, J. A. S.; TREME, V.; LIMBERGER, R. P.; SOBRAL, M.; HENRIQUES, A. T.  
Alkaloids of *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) species from Southern Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.29, p. 819-825, 2001.