**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Respostas morfoanatômicas, fisiológicas e químicas de *Allagoptera campestris* (Mart.) Kuntze (Arecaceae) crescendo em áreas de Cerrado com e sem interferência do *Pinus* sp.

Lucas Henrique Santos Barbosa

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2021**

Lucas Henrique Santos Barbosa
Licenciado em Ciências Biológicas

Respostas morfoanatômicas, fisiológicas e químicas de *Allagoptera campestris* (Mart.) Kuntze (Arecaceae) crescendo em áreas de Cerrado com e sem interferência do *Pinus* sp.

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.

Orientadora:
Profa. Dra. **BEATRIZ APPEZZATO-DA-GLÓRIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Barbosa, Lucas Henrique Santos

Respostas morfoanatômicas, fisiológicas e químicas de *Allagoptera campestris* (Mart.) Kuntze (Arecaceae) crescendo em áreas de Cerrado com e sem interferência do *Pinus* sp. / Lucas Henrique Santos Barbosa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

66 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Anatomia quantitativa 2. Palmeira 3. Rebrotamento 4. Reservas 5. Rizoma
I.Título.

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Helena de Barros Santos, meu maior exemplo de força e resiliência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter reescrito minha história, por sempre cuidar de mim e me fortalecer. Assim como, por ter proporcionado mais uma conquista.

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado e à FAPESP pelo auxílio financeiro (processo 2018/18887-5), por meio do projeto de pesquisa “Anatomia das estruturas de rebrotamento e o banco de gemas de espécies de Cerrado”, o qual possibilitou a realização desta pesquisa.

À minha orientadora Profa. Dra. Beatriz Appezzato da Glória, a qual já admirava antes mesmo de conhecer pessoalmente, sendo para mim um grande exemplo de pesquisadora e docente. Sou grato por toda sua contribuição em minha formação e paciência. É uma honra poder trabalhar e continuar esta parceria.

À Marli Kasue Misaki Soares, técnica do Laboratório de Anatomia Vegetal (LAnVeg) – ESALQ/USP, por toda ajuda, paciência e ensinamentos das técnicas que até então não conhecia.

À Maria Solizete Granziol, secretária do Programa de Pós-graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, por sua gentileza e auxílio a todo tempo.

Ao Prof. Dr. Cláudio Lima de Aguiar do Laboratório Hugot de Tecnologia em Sucroderivados da ESALQ/USP, por toda colaboração e parceria nas análises químicas deste trabalho.

À Profa. Dra. Sônia Maria Stefano Piedade, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Dr. Antônio Nogueira Júnior, por ajudar e viabilizar as análises fisiológicas deste trabalho.

Ao Sr. Marcos Barbosa Soler, técnico da Estação Ecológica de Santa Bárbara, por toda sua solicitude durante as coletas de campo.

Ao Prof. Dr. Elliot Watanabe Kitajima e ao técnico Renato Barbosa Salaroli do Laboratório de Microscopia Eletrônica Professor Dr. Elliot Watanabe Kitajima da ESALQ/USP, pelo uso dos equipamentos.

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Anatomia Vegetal, Alexandre, Gabriel, Larissa, Magda, Márcia, Rodrigo e Zélia, por todos os momentos juntos, em especial à Gabi, por todo companheirismo, parceria, ajuda nos campos, histórias de campo, conversas e nossas muitas risadas. E, à Júlia, por sempre estar disposta a me ajudar, conversar e por todo seu companheirismo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP e ao Programa de Pós Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, por possibilitar a realização do curso de Mestrado.

À Seção Técnica de Promoção Social e Moradia Estudantil da ESALQ/USP, por conceder moradia na Vila Estudantil durante o Mestrado.

À minha amiga e orientadora do curso de Graduação, Profa. Dra. Graziela Cury Guapo, por todo apoio, conselhos, confiança e torcida.

Aos meus amigos que sempre me dão forças, apoiam, aconselham, torcem e estão comigo em todos os momentos.

À minha mãe, Maria Helena de Barros Santos, à minha irmã, Helena Carla de Barros Santos, e aos meus sobrinhos Karol, Mylena e Pedro, por todo apoio, torcida e amor. Continuo prosseguindo por vocês. Amo todos!

E a todos que contribuíram de forma direta e indireta na realização deste trabalho, por toda ajuda, torcida e por acreditarem em mim.

“Pois ele será como uma árvore plantada próximo às águas, e que estende as suas raízes até o rio, e não verá quando o calor chegar, porém a sua folha estará verde, e não terá preocupação no ano de seca, e nem cessará de produzir fruto.”

Bíblia Sagrada

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Áreas de estudo.....	19
3.2. Material Botânico	21
3.3. Análises morfológicas	21
3.4. Avaliação do banco de gemas	21
3.5. Microscopia de Luz (ML)	21
3.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	22
3.7. Trocas gasosas e fluorescência de clorofia.....	23
3.8. Análises colorimétricas de carboidratos, fenólicos e flavonoids totais	23
3.9. Análise da resposta ao corte raso da parte aérea	24
3.10. Análises estatísticas	25
4. RESULTADOS	27
4.1. Morfometria foliar	27
4.2. Micromorfologia.....	28
4.3. Anatomia foliar.....	29
4.3.1. Aspectos qualitativos.....	29
4.3.2. Aspectos quantitativos.....	33
4.4. Trocas gasosas e fluorescência de clorofila.....	35
4.5. Morfometria dos órgãos subterrâneos	38
4.6. Análises colorimétricas de carboidratos, fenólicos e flavonoides totais	39
4.7. Avaliação do banco de gemas	40
4.8. Resposta ao corte raso da parte aérea	41
5. DISCUSSÃO	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Respostas morfoanatômicas, fisiológicas e químicas de *Allagoptera campestris* (Mart.) Kuntze (Arecaceae) crescendo em áreas de Cerrado com e sem interferência do *Pinus* sp.

Uma das ameaças à vegetação do Cerrado tem sido o cultivo e a invasão de espécies exóticas, por exemplo, o *Pinus* sp., pois são poucas as espécies dos estratos herbáceo e arbustivo que conseguem sobreviver ao preparo do solo para o plantio e, posteriormente, se manter no sub-bosque devido à camada de acículas e à menor entrada de luz resultante do fechamento do dossel. Para o presente estudo foi escolhida a palmeira *Allagoptera campestris* que ocorre em três áreas distintas da Estação Ecológica de Santa Bárbara, localizada em Águas de Santa Bárbara, São Paulo, ou seja, num sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP), numa área de Cerrado em regeneração (CER) após retirada do *Pinus* sp. (em 2012) e, subsequente queimada do material remanescente (em 2014) e numa área de Cerrado onde não houve plantio de *Pinus* sp.. A pesquisa visou responder as seguintes questões: a) As características morfoanatômicas, fisiológicas e químicas dos órgãos vegetativos de *A. campestris* diferem nas três áreas? b) Os indivíduos das três áreas respondem de maneira similar ao corte raso da parte aérea? c) A fragmentação do rizoma durante o preparo do solo para a implantação do talhão de *Pinus* pode ter favorecido a ocorrência de *A. campestris* no sub-bosque? Para responder as questões, três plantas foram coletadas em cada uma das três áreas com auxílio de retroescavadeira. Foram levantados dados morfométricos dos órgãos vegetativos. Amostras de folhas foram processadas com as técnicas usuais para as análises em microscopia de luz (ML) e em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Também foram realizadas análises fisiológicas da folha e análises químicas do rizoma. Após o corte raso da parte aérea de outras 10 plantas de cada área, foram realizadas análises a cada dois meses durante o período de um ano. As características morfoanatômicas, fisiológicas e químicas das plantas diferiram entre as áreas. As folhas do SBP apresentaram maior comprimento que nas duas outras áreas e valores inferiores de espessura total da lâmina foliar, de espessura do tecido de expansão, de deposição de cera epicuticular e de índice estomático. As plantas do SBP também apresentaram os menores valores de assimilação líquida de CO₂, em contrapartida, nas plantas do CER foram observados os maiores valores. Contudo, os teores de carboidratos totais são maiores nas plantas do SBP. As plantas no CEN apresentaram maiores concentrações de fenólicos totais que as plantas que crescem nas áreas com interferência do *Pinus* sp.. A resposta ao corte raso da parte aérea diferiu entre as áreas. No entanto, em cada área, após um ano, as plantas apresentaram valores similares dos parâmetros analisados antes de ser efetuado o corte raso da parte aérea. Como as plantas de *A. campestris* eram todas acaulescentes com as folhas dispostas próximas ou no nível do solo, as gemas axilares estavam todas concentradas na porção proximal do rizoma protegidas pelas bainhas das folhas. Não foram verificadas gemas axilares ao longo do rizoma o que indica que a sua fragmentação dificilmente possibilitaria a propagação favorecendo a ocorrência da espécie no SBP.

Palavras-chave: Anatomia quantitativa, Palmeira, Rebrotamento, Reservas, Rizoma

ABSTRACT

Morphoanatomical, physiological and chemical responses of *Allagoptera campestris* (Mart.) Kuntze (Arecaceae) growing in Cerrado areas with and without *Pinus* sp. interference

One of the threats to the Cerrado vegetation has been the cultivation and invasion of exotic species, for example, *Pinus* sp., as there are few species of the herbaceous and shrub layer able to survive the soil management for planting and, to remain in the understory due to the pine needles layer and the low light input resulting from the canopy closure. For the present study, the palm *Allagoptera campestris* was chosen, which occurs in three distinct areas of the Santa Bárbara Ecological Station, located in Águas de Santa Bárbara, São Paulo, that is, in an understory of *Pinus* sp. (SBP), in a regenerating Cerrado area (CER) after removal of *Pinus* sp. (in 2012) and subsequent burning of the remaining material (in 2014) and in an area of Cerrado where there was no planting of *Pinus* sp. The research aimed to answer the following questions: a) Do the morphoanatomical, physiological, and chemical characteristics of vegetative organs of *A. campestris* differ in the three areas? b) Do the individuals in the three areas respond similarly to the shallow cut of the aerial part? c) Could the rhizome fragmentation during soil preparation for planting *Pinus* have favored the occurrence of *A. campestris* in the understory? To answer the questions, three plants were collected in each of the three areas with the aid of a backhoe. Morphometric data of vegetative organs were collected. Leaf samples were processed with the usual techniques for light microscopy (ML) and scanning electron microscopy (SEM) analysis. Physiological analyzes of the leaf and chemical analyzes of the rhizome were also performed. After the shallow cut of the aerial part of 10 other plants in each area, analyzes were carried out every two months during the period of one year. The morphoanatomical, physiological and chemical characteristics of the plants differed between areas. The SBP leaves showed greater length than in the other two areas and lower values of total leaf blade thickness, expansion tissue thickness, epicuticular wax deposition, and stomatal index. The SBP plants also showed the lowest values of net CO₂ assimilation, in contrast, in the CER plants the highest values were observed. However, the total carbohydrate content is higher in SBP plants. Plants at CEN showed higher concentrations of total phenolics than plants growing in areas with the interference of *Pinus* sp.. Response to shallow cut of the aerial part differed between areas. However, in each area, after one year, the plants presented similar values of the parameters analyzed before the shallow cut of the aerial part was carried out. As the plants of *A. campestris* were all acaulescent with leaves in close proximity or at ground level, the axillary buds were all concentrated in the proximal portion of the rhizome protected by the leaf sheaths. No axillary buds were found along the rhizome, indicating that its fragmentation would hardly allow propagation favoring the occurrence of the species in the SBP.

Keywords: Quantitative anatomy, Palm, Regrowth, Reserves, Rhizome

1. INTRODUÇÃO

Allagoptera campestris (Mart.) Kuntze (Arecaceae), conhecida popularmente como buri-do-campo, é uma palmeira provida de caule predominantemente subterrâneo, apresenta crescimento lento e ocorre em fisionomias campestres de Cerrado e em Cerrado típico (Durigan *et al.*, 2004).

No Brasil, *Allagoptera campestris* está presente nos estados da Bahia, Maranhão, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e no Distrito Federal (Moraes & Martins, 2019). Também ocorre do sul ao leste do Paraguai e no nordeste da Argentina (Moraes, 1996). Na Argentina, Chediack (1999) observou alta densidade populacional de *A. campestris* em áreas de plantio de *Pinus* spp., associando tal fato à fragmentação do rizoma durante o preparo do solo para o cultivo e à supressão de outras espécies causada pelo sombreamento e acúmulo de acículas.

Na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), localizada no município de Águas de Santa Bárbara, São Paulo, *Allagoptera campestris* também é uma das poucas espécies que se mantém em grande número no sub-bosque de talhões de *Pinus* sp., os quais foram introduzidos nas décadas de 1960 a 1980 (Abreu & Durigan, 2011). Porém, assim como na Argentina, o que promoveu o seu sucesso nessa área é desconhecido, podendo estar relacionado com a fragmentação do rizoma, como sugere Chediack (1999).

Sabe-se que *Allagoptera campestris* apresenta caule rizomatoso horizontal a 10 cm abaixo da superfície do solo e o comprimento das raízes adventícias não excede 50 cm, no entanto a anatomia da raiz é pouco conhecida (Moraes, 1996) e não existem descrições anatômicas do caule. Algumas descrições anatômicas foliares são apresentadas por Moraes (1996), Martins *et al.* (2015) e Pinedo *et al.* (2016), porém, dentro de um contexto taxonômico comparativo com outras espécies do gênero.

Da mesma forma, não há informações acerca da capacidade de regeneração da parte aérea de *Allagoptera campestris* a partir de um banco de gemas, o qual é definido como uma população de meristemas dormentes, podendo ser aéreo e, ou subterrâneo (Klimešová & Klimeš, 2007) comum em áreas de distúrbios ambientais (Aubert & Oliveira-Filho, 1994; Clarke *et al.*, 2013). É provável que o potencial de rebrotamento, bem como a fragmentação do rizoma sugerido por Chediack (1999), pode ter favorecido a permanência da espécie nos talhões de *Pinus* sp. na EEcSB.

Estruturas subterrâneas espessadas, como é o caso do rizoma, desempenham importante função no transporte de água e nutrientes (Appenzato-da-Glória, 2015) e podem

acumular compostos de reserva essenciais para o rebrotamento de plantas devido a demanda energética para essa finalidade (Appezato-da-Glória, 2015; Clarke *et al.*, 2010; De Moraes *et al.*, 2016; Pausas *et al.*, 2018), bem como compostos de proteção contra herbivoria e patógenos, por exemplo, os compostos fenólicos, os quais estão associados ao mecanismo de adaptação e resistência das plantas ao ambiente (Silva *et al.*, 2020).

Além das adaptações que permitem o rebrotamento através dos órgãos subterrâneos, plantas de uma mesma espécie podem apresentar diferentes características morfoanatômicas e fisiológicas em função do crescimento em diferentes condições (Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Costa *et al.*, 2018; Hanba *et al.*, 2002; Kuster *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2016; Rossatto & Kolb, 2010; Somavilla & Graciano-Ribeiro, 2011), por exemplo, Marques *et al.* (2000) constataram plasticidade anatômica e morfológica nas folhas das plantas de *Miconia ibaguensis* e *M. stenostachya* crescendo em condições de total exposição à luz solar no Cerrado e sob sombreamento na mata ripária.

Na EECSB, além de presente nos talhões de sub-bosque de *Pinus* sp., *Allagoptera campestris* também ocorre no Cerrado onde não há interferência do *Pinus* sp. e em áreas de Cerrado em regeneração, onde houve a retirada dos talhões e em alguns casos, posterior queimada do material remanescente. No entanto, não se sabe quais características morfoanatômicas, fisiológicas e químicas dos órgãos vegetativos de *A. campestris* favorecem a sua permanência nos sub-bosques de *Pinus* sp. e, se tais atributos se mantêm similares aos das plantas que ocorrem nas áreas de Cerrado sem interferência do *Pinus* sp. e nas áreas de Cerrado em regeneração após retirada dos talhões. Também não existem informações acerca do banco de gemas e da capacidade de regeneração de *A. campestris*, sendo o estudo de tais aspectos um ponto chave no entendimento da permanência de indivíduos dessa espécie nos sub-bosques de *Pinus* sp.. Portanto, avaliar tais características nas plantas de *A. campestris* nas três condições poderá fornecer informações sobre a plasticidade fenotípica da espécie para o entendimento da sua capacidade de adaptação no Cerrado.

O presente estudo objetivou responder as seguintes questões: a) As características morfoanatômicas e fisiológicas das folhas, morfométricas e químicas dos rizomas e morfométricas das raízes de *A. campestris* diferem nas três áreas? b) Os indivíduos das três áreas respondem de maneira similar ao corte raso da parte aérea? c) A fragmentação do rizoma durante o preparo do solo para a implantação do talhão de *Pinus* pode ter favorecido a ocorrência de *A. campestris* no sub-bosque?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Arecaceae é a única família da ordem Arecales, uma das principais famílias de monocotiledôneas, compreendendo aproximadamente 181 gêneros e 2.600 espécies (Christenhusz & Byng, 2016), distribuídas predominantemente na zona tropical (Henderson *et al.*, 2019).

No Brasil, há 38 gêneros e 282 espécies de palmeiras, ocorrentes na Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, Cerrado, Pampa e Pantanal (Leitman *et al.*, 2015). Na região Central, dentre os gêneros mais comuns encontra-se *Allagoptera* Ness (Henderson *et al.*, 2019), o qual possui 6 espécies: *A. arenaria* (Gomes) Kuntze; *A. brevicalyx* M. Moraes; *A. campestris* (Mart.) Kuntze; *A. caudescens* (Mart.) Kuntze; *A. leucocalyx* (Drude) Kuntze; e *A. robusta* R.C. Martins & Filg. (Pinedo *et al.*, 2016).

O gênero *Allagoptera*, conhecido popularmente como ariri, buri, buri do campo, côco de guriri, côco de vassoura, coquinho, coqueiro de pissandó, imburi, licuri, ouricuri e pissandú, possui ampla utilização, que vai do uso comestível ao artesanato (Moraes, 1996). Além disso, seus frutos são considerados recursos importantes para a alimentação de mamíferos (Andreazzi, 2009). As suas espécies apresentam caule subterrâneo do tipo rizoma, exceto *A. caudescens* que apresenta caule aéreo (Defaveri *et al.*, 2015), inflorescências do tipo espiga e as flores são inseridas helicoidalmente. Sua revisão taxonômica foi realizada por Moraes (1996) quando eram reconhecidas apenas quatro espécies (*A. arenaria*, *A. brevicalyx*, *A. campestris* e *A. leucocalyx*), achando-se o gênero no Brasil, Bolívia, Paraguai e Argentina.

Dentre as características anatômicas foliares diagnósticas do gênero apresentadas por Pinedo e colaboradores (2016) estão: lâmina plana a ondulada abaxialmente, hipostomática; epiderme unisseriada; tricomas ausentes; estômatos tetracíticos, dispostos regularmente em fileiras; complexo celular buliforme, descrito por Tomlinson (1990) como tecido de expansão, apenas na superfície abaxial, com duas ou três camadas espessas, com ou sem grupos de fibras intercaladas; hipoderme mais espessa que a epiderme, com uma ou duas camadas adaxialmente e uma camada abaxialmente; mesofilo dorsiventral clássico, dorsiventral gradual ou homogêneo, com cinco a 10 camadas de células; glândulas secretoras presentes; ráfides ausentes; feixes vasculares geralmente até a quarta ordem (até o terceiro em *Allagoptera brevicalyx*) com bainha esclerenquimatosa; dois a seis grupos de floema no feixe da nervura central; bordo foliar angular ou arredondado.

Dados anatômicos sobre algumas espécies são escassos e geralmente descritos em estudos taxonômicos (Defaveri *et al.*, 2015; Moraes, 1996; Martins *et al.*, 2015; Pinedo *et al.*, 2016), como é o caso de *Allagoptera campestris*. Sabe-se que a lâmina foliar de *A. campestris* não dispõe de ondulações abaxialmente, a epiderme apresenta espessura semelhante em ambas as superfícies da folha, os estômatos estão dispostos em fileiras, o mesofilo é homogêneo com grupos abundantes de fibras em uma faixa contínua e o feixe vascular principal é bicolateral (Pinedo *et al.*, 2016).

Allagoptera campestris, conhecida popularmente como buri do campo, apresenta crescimento lento, ocorre em fisionomias campestres de Cerrado e em Cerrado típico (Durigan *et al.*, 2004) e sua distribuição abrange os estados da Bahia, Maranhão, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e no Distrito Federal (Moraes & Martins, 2019). Ocorre também do sul ao leste do Paraguai e no nordeste da Argentina (Moraes, 1996). Na região Centro-Oeste do Brasil, *A. campestris* está entre as 16 espécies de palmeiras nativas mais utilizadas por comunidades indígenas. Suas folhas são usadas no artesanato e seus frutos são usados na culinária e consumidos *in natura*, assim como seu palmito (Martins *et al.*, 2014). Seus frutos também servem de alimento para animais, como para a *Lycalopex vetulus* (Lund), conhecida popularmente como raposa-do-campo, o menor dos canídeos brasileiros (Dalponte & Lima, 1999) e que está como vulnerável na Lista Nacional das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (Brasil, 2014).

Na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), localizada em Águas de Santa Bárbara, São Paulo, cuja cobertura vegetal original caracteriza-se por um mosaico de fisionomias de Cerrado, *Allagoptera campestris* além de ocorrer preferencialmente nas fisionomias campestres e savânicas, também ocorre em áreas de plantio de *Pinus* sp.. Na EEcSB, o cultivo de *Pinus* sp. foi introduzido nas décadas de 1960 a 1980 (Abreu & Durigan, 2011), o que levou à supressão da maioria das espécies nativas não só pelo acúmulo de acículas, mas também pela restrição de entrada de luz decorrente do fechamento do dossel (Abreu, 2013). Apesar da supressão sofrida, algumas espécies se mantêm no sub-bosque de *Pinus* sp., dentre elas está a palmeira *A. campestris* (Abreu, 2013). Na Argentina, também foi observada a presença de *A. campestris* em áreas de plantio de *Pinus* spp. e tal fato foi associado à fragmentação do rizoma durante o preparo do solo para o cultivo e à supressão de outras espécies causada pelo sombreamento e acúmulo de acículas (Chediack, 1999). Porém, não se sabe quais atributos morfoanatômicos, fisiológicos e químicos dos órgãos vegetativos favorecem a permanência da espécie no sub-bosque de *Pinus* spp. e se tais atributos diferem

daqueles encontrados nas plantas crescendo em condições onde não há a interferência do *Pinus* sp. e em áreas de Cerrado em regeneração onde o *Pinus* sp. foi cortado e o material remanescente foi queimado.

Em *Allagoptera campestris* o rizoma está situado a 10 cm abaixo da superfície do solo e o comprimento das raízes adventícias não excede 50 cm (Moraes, 1996). O rizoma é um caule subterrâneo espessado que apresenta desenvolvimento lateral e, quando fragmentado, a reprodução vegetativa o que confere às plantas rizomatosas a capacidade de adaptação a ambientes sujeitos a distúrbios (Pausas *et al.*, 2018). Além disso, podem acumular compostos de reserva essenciais para o rebrotamento (Appezato-da-Glória, 2015; Clarke *et al.*, 2010; De Moraes *et al.*, 2016; Pausas *et al.*, 2018), bem como compostos de proteção contra herbivoria e patógenos, por exemplo, os compostos fenólicos, os quais estão associados ao mecanismo de adaptação e resistência das plantas ao ambiente (Silva *et al.*, 2020). O rebrotamento após distúrbios depende não só das reservas, mas também de um banco de gemas, ou seja, de um conjunto de meristemas dormentes aptos a possibilitar a regeneração, podendo ser aéreo e, ou subterrâneo (Klimešová & Klimeš, 2007). Não há informações na literatura sobre a capacidade de regeneração da parte aérea em *Allagoptera campestris*, pois a anatomia do rizoma e seus compostos de reserva e proteção, bem como a localização do banco de gemas ainda não foram estudados.

Além das adaptações relacionadas ao rebrotamento através de órgãos subterrâneos, as plantas podem apresentar características morfológicas, anatômicas e fisiológicas distintas entre indivíduos de uma mesma espécie como mecanismo de adaptação ao ambiente, por exemplo, quando presentes em áreas de tipos diferentes de vegetação (Somavilla & Graciano-Ribeiro, 2011) ou com diferentes condições de luminosidade (Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Costa *et al.*, 2018; Hanba *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2016; Rossatto & Kolb, 2010). Kuster e colaboradores (2018) verificaram que plantas de *Jacquinia armillaris* Jacq. (Primulaceae) embora crescendo em duas condições ambientais costeiras típicas, as características locais específicas foram suficientes para desencadear a plasticidade anatômica e morfológica, particularmente associadas à distribuição dos estômatos e ao tamanho das folhas.

Marques *et al.* (2000) também constataram plasticidade anatômica e morfológica nas folhas das plantas de *Miconia ibaguensis* e *M. stenostachya* (Melastomataceae) em duas diferentes condições, porém, de luminosidade. Os autores observaram que as plantas das duas espécies que cresciam totalmente expostas à luz solar no Cerrado apresentaram maiores

valores de área foliar, volume foliar, massa foliar específica, espessura total da lâmina foliar, espessura do mesofilo, espessura do parênquima paliçádico e densidade estomática em relação às plantas que se desenvolviam sob o sub-bosque da mata ripária, o qual apresentava sombreamento. Os valores de espessura das células epidérmicas das faces adaxial e abaxial da folha e espessura do parênquima esponjoso apresentaram diferenças significativas apenas nas plantas de *M. stenostachya*.

Plantas de *Macairea radula* (Bonpl.) D.C. e de *Trembleya parviflora* (D. Don) Cogn. (Melastomataceae) crescendo em dois ambientes distintos, zona de fundo da Vereda e Cerrado *stricto sensu*, apresentam folhas que diferem quanto à espessura de mesofilo, do parênquima paliçádico e do parênquima lacunoso (Somavilla & Graciano-Ribeiro, 2011). Em *Cymbopogon nardus* L. Rendle (Poaceae) plantas expostas diretamente à luz exibem maiores valores de comprimento e largura das folhas, de densidade estomática, de espessura do mesofilo e de tamanho das células epidérmicas em comparação com folhas de plantas cultivadas em áreas com sombreamento (Araújo *et al.*, 2017). As folhas das plantas de *Butia capitata* (Martius) Beccari (Arecaceae) sob pleno sol também apresentam maior densidade estomática na superfície adaxial da folha em comparação com folhas de plantas cultivadas sob sombrite, além de maior espessura da epiderme em ambas as superfícies da folha (Costa *et al.*, 2018). As plantas de *Salvia officinalis* L. (Lamiaceae) quando submetidas a crescimento sob 50% e 70% de sombreamento, exibem maior comprimento foliar e as plantas cultivadas sob a plena luz do sol apresentam menor comprimento foliar. No entanto, quanto menor o sombreamento, maiores valores são obtidos para rendimento fotossintético, condutância estomática e eficiência hídrica. Também são observadas diferenças quanto aos pigmentos fotossintéticos, sendo que as plantas expostas diretamente à luz solar e sob 30% de sombreamento apresentam os menores teores de clorofilas a e b, clorofila total e carotenoides em comparação com as plantas cultivadas sob 50% e 70% de sombreamento (Rezai *et al.*, 2018).

Pelo exposto, a maioria dos exemplos de análises morfoanatômicas comparativas entre plantas da mesma espécie em ambientes e, ou condições distintas está relacionada às folhas (Araújo *et al.*, 2017; Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Costa *et al.*, 2018; Hanba *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2016; Rezai *et al.*, 2018; Rossatto & Kolb, 2010; Somavilla & Graciano-Ribeiro, 2011), sendo raras as informações sobre as raízes (Costa *et al.*, 2018) e caules.

As informações disponíveis na literatura sobre anatomia da folha de *Allagoptera campestris* são apresentadas apenas num contexto taxonômico (Moraes, 1996; Martins *et al.*, 2015; Pinedo *et al.*, 2016). Portanto, avaliar as características morfoanatômicas e fisiológicas das folhas, morfométricas e químicas dos rizomas e morfométricas das raízes das plantas de *A. campestris* nas três áreas da EEcSB será relevante para o conhecimento da plasticidade da espécie e para o entendimento da sua adaptação às diferentes condições de crescimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Áreas de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em três diferentes áreas da Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), localizada em Águas de Santa Bárbara, São Paulo (22°48'59" S; 49°14'12" W): 1) em uma área de sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) (Fig. 1 A), cultivado desde 1972, conhecida como talhão 127 no plano de manejo da EEcSB; 2) numa área do Cerrado em regeneração (CER) após o corte raso do *Pinus* sp. em 2012 e, posterior queimada do material remanescente em 2014 (Fig. 1 B); 3) numa área do Cerrado onde não houve plantio de *Pinus* sp. (CEN) (Fig. 1 C).

A EEcSB compreende uma área de 2,712 ha, está sujeita a sazonalidade climática, apresenta períodos bem definidos de chuvas, entre os meses de outubro a março e, de seca, entre os meses de abril a setembro, clima do tipo Cwa (verão quente e úmido e inverno seco), durante o inverno apresenta temperatura média de 18 °C e no verão temperatura média de 22 °C, com precipitação anual variando de 1000-1300 mm e os latossolos vermelhos são a classe de solos dominante na unidade (Melo & Durigan, 2011).

Na EEcSB encontrasse um mosaico de fisionomias de Cerrado, desde formações campestres e savânicas, até florestais e com presença de floresta estacional semidecidual. Na EEcSB também existem áreas de plantios de espécies exóticas, como exemplo espécies de *Pinus*, cultivadas desde a década de 70, áreas invadidas por *P. elliotti* (Melo & Durigan, 2011) e áreas em regeneração após a retirada dos talhões de *Eucaliptus* spp. e *Pinus* sp., geralmente, seguida por queima do material remanescente, como ocorrido na área de Cerrado em regeneração aqui estudada.

Nas três áreas de coleta foram analisadas a temperatura e a umidade do solo, na região de 0-20 cm. Em cada área, foram considerados 10 pontos com espaçamentos de 10 metros entre os mesmos a partir de 10 metros da borda. As medidas foram realizadas a cada duas horas das 7 às 17 horas do dia 08 de fevereiro de 2019. A temperatura do solo foi aferida com auxílio de termômetros digitais do tipo espeto Incoterm com faixa de temperatura de -45 °C a +230 °C. Na área de Cerrado em regeneração, a temperatura média do solo foi de 30,1 °C, seguida pela área de Cerrado natural com 28,3 °C e sub-bosque de *Pinus* sp. com 23,4 °C.

Figura 1. *Allagoptera campestris* nas três áreas de estudo na Estação Ecológica de Santa Bárbara. A. Sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP). B. Cerrado em regeneração (CER). C. Cerrado onde não houve plantio de *Pinus* sp. (CEN). D. Indivíduo de *A. campestris* após a coleta e remoção do solo. E-F. Coleta de *A. campestris* com o auxílio de uma retroescavadeira. Barra em D = 10 cm.

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico (Buckman & Brady, 1979), sendo as amostras coletadas com auxílio de um trado sonda. A umidade do solo na área sub-bosque de *Pinus* sp. foi de 11%, seguida pela área de Cerrado em regeneração com 6% e Cerrado natural com 5% (Dados da equipe de pesquisa).

3.2. Material Botânico

Nas três áreas de estudo, no dia 11 de fevereiro de 2019, foram coletados três indivíduos inteiros de *Allagoptera campestris* (Fig. 1 D) com o auxílio de uma retroescavadeira (Fig. 1 E-F), para as análises morfológicas, anatômicas e químicas. Além disso, foi coletado material com órgãos reprodutivos, submetido à prensagem e secagem e após identificação por especialista, foi elaborada exsicata e incorporada com o número de tombo ESA 140303 ao acervo do Herbário da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

3.3. Análises morfológicas

Para as análises morfológicas, foram levantados dados morfométricos de três folhas, dos rizomas e das três raízes mais longas das três plantas de *Allagoptera campestris* coletadas de cada área. Foram levantados os valores médios de comprimento total da folha, comprimento e largura da lâmina foliar, número de pinas, comprimento e largura da pina média, diâmetro da raque, comprimento e diâmetro do rizoma, número total de raízes, comprimento e diâmetro das três raízes mais longas.

3.4. Avaliação do banco de gemas

Foi realizada contagem manual das gemas encontradas nos três indivíduos de *Allagoptera campestris* coletados de cada área.

3.5. Microscopia de Luz (ML)

A região mediana das pinas centrais de três folhas de três indivíduos de cada área foi seccionada nos planos transversal e longitudinal em micrótomo de deslize Leica® a 10µm e 30µm com navalhas de aço descartáveis. As seções foram clarificadas com hipoclorito de

sódio a 20% durante 20 minutos, lavadas várias vezes e, posteriormente, coradas com azul de Alcian (Luque *et al.*, 1996) e safranina (Gerlach, 1984) na proporção de 9:1 e montadas entre lâmina e lamínula com resina sintética “Entellan” ou com gelatina glicerizada 50% para as análises anatômicas usuais.

Para o estudo da anatomia quantitativa, foram analisados os seguintes caracteres: espessura total da lâmina foliar, espessura da cutícula e da epiderme em ambas as faces da lâmina foliar, espessura das camadas de células buliformes (tecido de expansão), altura das células buliformes e índice estomático (IE). Para cada parâmetro foram realizadas 10 medições ou contagens em três lâminas confeccionadas de uma folha por indivíduo, tendo sido considerados 10 indivíduos em cada área (n=10), buscando obter uma média do indivíduo.

Para a medição da espessura total da lâmina foliar, espessura da cutícula e da epiderme em ambas as faces da lâmina foliar, espessura do tecido de expansão e altura das células buliformes foram realizadas seções a 10µm de espessura em micrótomo de deslize Leica® da região mediana das pinas centrais. As seções foram submetidas ao corante Sudan IV (Jensen, 1962) para evidenciar a cutícula e montadas em gelatina glicerizada 50%. Para analisar o IE, amostras da região mediana das pinas centrais foram colocadas em hidróxido de sódio 5% por 24 horas, lavadas várias vezes em água destilada e, posteriormente, colocadas em hipoclorito de sódio a 20%, trocando duas vezes ao dia até o material tornar-se translúcido, depois lavadas várias vezes em água destilada, coradas com azul de Alcian (Luque *et al.*, 1996) e safranina (Gerlach, 1984) na proporção de 1:1 durante 4 minutos, lavadas em água destilada e montadas em gelatina glicerizada 50%.

Após a análise das lâminas histológicas, os resultados das análises anatômicas foram documentados através da captura de imagens usando câmera de vídeo Leica® DC 300F acoplada ao microscópio Leica® DMLB com as escalas das fotomicrografias diretamente impressas nas mesmas. As medições e contagens foram realizadas através do Software Image J (Rasband, 2006).

3.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para observação da superfície foliar, foram realizadas análises ao MEV das folhas provenientes de indivíduos das três áreas. Amostras da região mediana das pinas centrais das

folhas foram secas em temperatura ambiente, em seguida, montadas em suportes de alumínio e cobertas com uma camada delgada de ouro (30-40 nm), no aparelho Balzers modelo SCD 050. As observações e eletromicrografias foram executadas em microscópio eletrônico de varredura modelo LEO VP 435 operado a 20 KV com escalas diretamente impressas. As análises ao MEV foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica Professor Dr. Elliot Watanabe Kitajima da ESALQ-USP.

3.7. Trocas gasosas e fluorescência de clorofia

A assimilação líquida de CO₂ (*A*), a condutância estomática (*g_s*), a concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), a taxa de transpiração (*E*), a eficiência do fotossistema 2 (*PhiPS2*), a temperatura do ar (*T_{air}*), a temperatura da folha (*T_{leaf}*) e a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*), foram estimadas às 07h, 09h, 11h, 13h, 15h e 17h do dia, sendo utilizadas três pinas centrais das folhas de cinco indivíduos de cada área para a avaliação através de um analisador portátil de gás por radiação infravermelho (Infra Red Gas Analyses – IRGA, modelo Li-6400XT, LI-COR) com a câmara de leitura de 2 cm². A concentração de CO₂ no ar (*C_a*) durante as medições foi de 400 µmol mol⁻¹ e as trocas gasosas foram medidas sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) de 1000 µmol m⁻² s⁻¹. A área abaixo das curvas dos parâmetros fisiológicos *A*, *g_s*, *C_i*, *E* e *PhiPS2* foi estimada para as três áreas por integração trapezoidal.

3.8. Análises colorimétricas de carboidratos, fenólicos e flavonoides totais

Amostras congeladas dos rizomas dos três indivíduos coletados de cada área foram mantidas congeladas (-18 °C), subsequentemente, trituradas manualmente por raspagem utilizando um ralador grande. Esse preparo foi necessário a liberação dos componentes estruturais e metabólitos contidos nas células vegetais. Para as análises de carboidratos totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais, as metodologias seguidas foram aquelas apresentadas por Silva *et al.* (2020). As análises de carboidratos totais foram realizadas pelo método do ácido fenol-ácido sulfúrico proposta por Dubois *et al.* (1956), onde 1 g do material (base úmida; umidade = 78%, em média) foi diluído em 100 mL de água ultrapura (18,2 mΩ.cm a 25 °C). A cada mililitro de extrato aquoso foram adicionados 25 µL de solução clarificante (1 parte de hidróxido de cálcio: 143 g; 2 partes de cloreto de alumínio

hexahidratado: 286 g; 4 partes de auxiliar de filtração Celite®: 571 g) com o intuito de remover os pigmentos interferentes à análise colorimétrica com fenol e ácido sulfúrico do método proposto.

Para as análises de flavonoides e fenólicos totais, realizou-se extração etanólica (etanol 95% v/v em água ultrapura) de 5 g das amostras trituradas em aparato Soxhlet de acordo com Ferraz *et al.* (2000). A partir dos extratos etanólicos foram quantificados os teores de compostos fenólicos totais (método do Folin-Ciocalteu) e flavonoides totais (método da complexação com cloreto de alumínio), os quais estão relacionados à proteção das estruturas celulares. Estas análises foram realizadas no Laboratório Hugot de Tecnologia em Sucroderivados da ESALQ-USP.

3.9. Análise da resposta ao corte raso da parte aérea

Para a análise da resposta ao corte raso da parte aérea de *Allagoptera campestris*, foram feitas medições do comprimento da maior folha e contagem do número de folhas maduras e de folhas jovens fechadas de cinco plantas de cada área antes do corte. Foi realizado o corte raso da parte aérea de 10 indivíduos de cada área (Fig. 2 A-B) com o auxílio de um facão. A análise da resposta ao corte raso da parte aérea foi efetuada através de medições do comprimento da maior folha e contagens do número de folhas maduras, número de folhas jovens fechadas e número de órgãos reprodutivos, ocorrendo a coleta de dados a cada dois meses durante o período de um ano.

Figura 2. *Allagoptera campestris* antes do corte raso (A) e logo após o corte (B) na área de Cerrado em regeneração. Observar a cepa remanescente de *Pinus* sp. queimada. Barras: 10 cm (A, B).

3.10. Análises estatísticas

Os resultados quantitativos foram analisados e comparados estatisticamente entre as três áreas, sendo submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias, usando o programa R (R Core Team, 2017).

4. RESULTADOS

4.1. Morfometria foliar

Os valores médios de comprimento da folha, comprimento e largura da lâmina foliar, número de pinas, comprimento e largura da pina média e diâmetro da raque das folhas de *Allagoptera campestris* mostraram diferenças entre as plantas das áreas analisadas (Tabela 1).

O comprimento das folhas das plantas no SBP foi maior em relação ao comprimento médio das folhas das plantas no CEN e no CER. O comprimento da lâmina foliar também diferiu, o valor de comprimento da lâmina foliar das plantas no SBP foi maior em relação às plantas no CEN. No CER as plantas apresentaram valor intermediário de comprimento da lâmina foliar, não diferindo das demais áreas. A largura da lâmina foliar não diferiu entre as plantas nas três áreas (Tabela 1).

O número de pinas foi maior nas folhas das plantas no CER em comparação com as plantas no CEN e SBP. Os valores médios de comprimento e largura da pina média não diferiram entre as plantas nas três áreas. O diâmetro da raque também não diferiu entre as plantas nas três áreas (Tabela 1).

Tabela 1. Morfometria (média $\pm$ desvio padrão) das folhas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Parâmetros	CEN		SBP		CER	
Comprimento total da folha (cm)	90,2 $\pm$ 2,5	b	121,4 $\pm$ 6,7	a	99,2 $\pm$ 2,7	b
Comprimento da lâmina foliar (cm)	55,8 $\pm$ 4,3	b	69,1 $\pm$ 7,3	a	57,5 $\pm$ 3,1	ab
Largura da lâmina foliar (cm)	38,2 $\pm$ 1,1	a	45,3 $\pm$ 3,2	a	37,4 $\pm$ 3,5	a
Número de pinas	96,7 $\pm$ 4,2	b	93,9 $\pm$ 5,7	b	115,1 $\pm$ 9,3	a
Comprimento da pina média (cm)	18,9 $\pm$ 0,7	a	22,4 $\pm$ 1,9	a	18,5 $\pm$ 2,1	a
Largura da pina média (cm)	0,9 $\pm$ 0,2	a	0,9 $\pm$ 0,2	a	0,9 $\pm$ 0,2	a
Diâmetro da raque (cm)	0,4 $\pm$ 0,0	a	0,4 $\pm$ 0,1	a	0,3 $\pm$ 0,1	a

4.2. Micromorfologia

Nas três áreas estudadas, na superfície adaxial da lâmina foliar ao microscópio de varredura (MEV), as ceras epicuticulares formam uma camada contínua fissurada, a qual recobre principalmente a região intercostal (Fig. 3A). Na superfície adaxial, são observados escassos estômatos próximos à nervura central e ao bordo (Fig. 3B) da pina. Também foi possível observar a presença de tricomas multicelulares na superfície adaxial (Fig. 3C).

Na superfície abaxial o depósito de cera forma uma camada amorfa não muito espessa que projeta hastes agregadas longitudinalmente (Figs. 3D, G), principalmente nas depressões onde se localizam os estômatos (Figs. 3E, H). No CEN e no CER a agregação das hastes ao redor dos estômatos forma cilindros ocos, os quais são conhecidos como chaminés estomáticas (Fig. 3F). Por outro lado, no SBP, o depósito de cera epicuticular é tão acentuado na superfície abaxial que impossibilita a análise dos estômatos ao MEV (Fig. 3I).

Figura 3. Eletromicrografias de varredura da superfície adaxial (A-C) e abaxial (D-I) da folha de *Allagoptera campestris*. (A) Cera epicuticular formando uma camada contínua fissurada que recobre principalmente as regiões intercostais (*). (B) Dois estômatos na região do bordo foliar. (C) Tricoma multicelular (seta preta). (D-F) No Cerrado (F) e na área em regeneração (D, E) a cera epicuticular apresenta projeções conspícuas nas depressões onde se localizam os estômatos formando as chaminés estomáticas (F), (G-I) Cera epicuticular recobrendo totalmente os estômatos na folha do sub-bosque. Setas brancas = estômatos. Barras: 10 µm (F); 20 µm (C, E, H, I); 50 µm (B); 100 µm (D, G); 200 µm (A).

4.3. Anatomia foliar

4.3.1. Aspectos qualitativos

A lâmina foliar em vista frontal, nas três áreas estudadas, apresenta células epidérmicas dispostas em fileiras longitudinais, bases de tricomas e estômatos. Em ambas as faces da folha, as células epidérmicas exibem paredes anticlinais retas (Figs. 4A, B). Na superfície adaxial são observadas bases de tricomas (Fig. 4C). A lâmina foliar é hipoestomática, com estômatos braquiparahexacíticos dispostos em fileiras únicas (Fig. 4B).

Nas seções transversais da porção mediana da pina média de folhas coletadas nas três áreas, é possível observar um filme espesso de cera epicuticular como uma camada translúcida sobre a cutícula (Figs. 4D-F). Sob o filme de cera epicuticular, a cutícula forma

uma camada espessa (Figs. 4E, F), principalmente na superfície abaxial da lâmina foliar (Fig. 4F).

A epiderme é uniestratificada, com células de paredes periclinais alongadas em relação às anticlinais curtas na face adaxial (Fig. 4E) e células com paredes peri e anticlinais com tamanhos similares na face abaxial (Fig. 4F). Os estômatos braquiparahexacíticos (Fig. 4B) estão distribuídos principalmente na superfície abaxial entre os feixes vasculares (Fig. 4D). Os estômatos ocorrem num nível inferior às demais células epidérmicas (Figs. 4G-I). Nas folhas das plantas no CEN e no CER, a cera epicuticular forma projeções na altura da câmara epiestomática (Figs. 4G, H), enquanto no SBP, recobre-os totalmente (Fig. 4I). Além de presentes na superfície abaxial, alguns poucos estômatos braquiparahexacíticos são encontrados na superfície adaxial, restritos a nervura central (Fig. 4J) e ao bordo foliar (Fig. 4D). Foram observados poucos tricomas multicelulares na superfície adaxial (Fig. 4K). Já as células buliformes, organizadas em duas a cinco camadas, estão sempre localizadas próximas à nervura central delimitando-a (Figs. 4J, L).

A hipoderme é uniestratificada e possui parede mais espessa que a epiderme, sendo que na face adaxial as células são mais largas que altas tendo formato achatado (Fig. 4E), enquanto na face abaxial as células são menores de formatos variáveis (Fig. 4F).

As fibras subepidérmicas são semelhantes àsquelas da bainha do feixe vascular e ocorrem adjacentes (Figs. 4E) ou entre as células da hipoderme (Figs. 4H, I). Na face adaxial, são observadas em faixas contínuas ou grupos dispersos (Figs. 4D, M), enquanto na face abaxial, apenas em grupos isolados (Figs. 4H, I, M).

O mesofilo é homogêneo e constituído por cinco a sete camadas de células clorenquimáticas no CEN (Fig. 5A) e SBP (Fig. 5B), e por seis a nove camadas de células no CER (Fig. 5C). As células têm arranjo bastante compacto, interrompido apenas pelas diminutas câmaras subestomáticas na face abaxial (Fig. 5A). Próximo ao bordo foliar o mesofilo pode apresentar número superior de camadas de células que os demais setores da lâmina foliar, visto que as fibras não vasculares, principalmente da superfície adaxial, normalmente não estão presentes na região próxima ao bordo foliar (Fig. 4M). Através da metodologia aqui empregada foi possível observar idioblastos contendo ráfides nas camadas mais centrais do mesofilo (Figs. 5D-F), característica ainda não relatada no gênero *Allagoptera*.

Figura 4. Fotomicrografias da vista frontal (A-C) e de seções transversais (D-M) da porção mediana da pina média de *Allagoptera campestris*. (A, C) Epiderme adaxial e (B) epiderme abaxial com estômatos em fileiras únicas. No destaque, o detalhe do estômato. (D) Região do bordo foliar mostrando a localização dos estômatos (*) entre os feixes vasculares e na epiderme da face adaxial. (E) Depósito de cera epicuticular (ponta de seta) na face adaxial. Detalhes da epiderme da face abaxial mostrando a cera epicuticular (pontas de seta) formando projeção na altura da câmara epiestomática em folha (G) do CEN e (H) do CER e (I) recobrendo o estômato em folha do SBP. (J) Células buliformes nas proximidades da nervura central. (K) Tricoma (seta) na epiderme da face adaxial. (L) Detalhe das células buliformes. (M) Observar a distribuição das fibras e dos estômatos na lâmina foliar. Cb = células buliformes; Ct = cutícula; Ep = epiderme; Fi = fibras não vasculares; Hp = hipoderme; Pa = parênquima; Vb = feixe vascular. Barras: 20 μ m (E, F, G, H, I); 25 μ m (destaque, B); 50 μ m (A, B, C, K, L); 100 μ m (D); 200 μ m (J, M).

A nervura central da pina é proeminente na face adaxial (Figs. 5G-J). Nessa região a hipoderme pode ser constituída por mais de uma camada (Figs. 5G-J) e o parênquima envolve a vascularização (Fig. 4J) constituída por um único feixe (Fig. 5G, J) ou por um feixe maior e um menor (Fig. 5H) ou por um feixe maior e dois feixes menores (Fig. 5I) do tipo colateral (Fig. 5G-I) ou do tipo bicolateral (Fig. 5J). A bainha do feixe é formada por uma camada descontínua de células parenquimáticas e de 2-3 camadas mais internas de fibras (Figs. 5G-J). Na face adaxial, as fibras da bainha do feixe atingem a hipoderme enquanto na face abaxial formam uma estreita extensão até a hipoderme (Fig. 4J).

As nervuras laterais apresentam feixe vascular do tipo colateral, providos de bainha do feixe formada por uma camada externa descontínua de células parenquimáticas e uma camada interna contínua de fibras (Figs. 5A-C), nas células parenquimáticas que constituem a camada externa, observa-se estrias de Caspary bem evidentes (Fig. 5L). As extensões de bainha de células lignificadas são voltadas para ambas as faces ou apenas para a face abaxial (Figs. 5A-C).

O bordo foliar é levemente arredondado e pode ser proeminente na superfície adaxial (Fig. 4M) ou abaxial, ou pode não ser proeminente (Fig. 4D). Há apenas um feixe vascular do tipo colateral cuja bainha possui uma camada de células parenquimáticas e uma camada de fibras na porção mais interna e várias camadas de fibras na porção mais externa. Nessa região da lâmina foliar a hipoderme pode se apresentar multiestratificada (Figs. 4D, M). Foram verificadas inclusões de sílica junto às fibras vasculares (Figs. 5G-K) e às fibras não vasculares (Fig. 5L) e ao bordo foliar (Fig. 5M), característica ainda não relatada para *A. campestris*.

Figura 5. Fotomicrografias de seções transversais (A-E, G-M) e seção longitudinal (F) da porção mediana da lâmina foliar da pina média de *Allagoptera campestris*. (A-C) Visão geral mostrando o mesofilo das plantas (A) no CEN, (B) SBP e (C) CER. (D-F) Idioblasto contendo ráfides (setas brancas) entre as células parenquimáticas do mesofilo. (G-J) Detalhes da nervura central constituída por um único feixe colateral (G), por dois feixes colaterais sendo um maior e um menor (H), por três feixes colaterais, sendo um feixe maior e dois feixes menores (I), ou por um feixe do tipo bicolateral (J). (K-M) Presença de inclusões de sílica junto às fibras vasculares e não vasculares (setas pretas). (L) Estrias de Caspary (pontas de seta) evidentes nas células parenquimáticas que constituem a camada externa da bainha do feixe. (M) bordo foliar com apenas um feixe vascular. Asteriscos = estômatos. Barras: 20 μ m (E, K); 50 μ m (D, L, M); 100 μ m (B, C, F, G, H, I, J).

4.3.2. Aspectos quantitativos

Foram observadas variações na anatomia foliar quantitativa das plantas de *Allagoptera campestris* ocorrendo nas três áreas estudadas, sendo que a maior parte das diferenças é observada entre as plantas que ocorrem no SBP e aquelas do CER (Tabela 2).

A espessura total da lâmina foliar é maior no CER (310,07 μm) e menor no SBP (259,28 μm). No CEN as plantas apresentam valor intermediário de espessura total da lâmina foliar (275,48 μm), não diferindo das demais áreas (Tabela 2).

A espessura da cutícula na face adaxial da folha não difere entre as áreas, mas na face abaxial, a espessura da cutícula é significativamente maior no CEN (5,84 μm) e menor no SBP (4,66 μm). No CER a cutícula na superfície abaxial apresenta espessura intermediária (5,31 μm) (Tabela 2).

A espessura da epiderme das faces adaxial e abaxial não difere entre as áreas. Já a espessura do tecido de expansão é significativamente maior nas folhas das plantas no CER (157,23 μm) e menor no SBP (123,33 μm). No CEN a espessura do tecido de expansão (133,13 μm) não difere das demais áreas. A altura das células buliformes também não difere entre as áreas (Tabela 2).

O índice estomático variou entre as áreas de estudo, sendo significativamente maior na área CER (0,092) e menor no SBP (0,077). As folhas das plantas de *Allagoptera campestris* na área CEN apresentam valor intermediário de índice estomático (0,085), o qual não difere das demais áreas (Tabela 2).

Tabela 2. Medida dos caracteres foliares (média $\pm$ desvio padrão) e resultado do teste Tukey ($p > 0,05$) para as plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Parâmetros	CEN			SBP			CER		
Espessura total lâmina foliar (μm)	275,48 $\pm$ 29,27	ab		259,28 $\pm$ 28,96	b		310,07 $\pm$ 36,15	a	
Espessura cutícula adaxial (μm)	3,92 $\pm$ 0,93	a		3,13 $\pm$ 0,70	a		3,88 $\pm$ 0,45	a	
Espessura cutícula abaxial (μm)	5,84 $\pm$ 1,03	a		4,66 $\pm$ 0,74	b		5,31 $\pm$ 0,81	ab	
Espessura epiderme adaxial (μm)	5,97 $\pm$ 1,46	a		6,22 $\pm$ 1,12	a		6,51 $\pm$ 0,79	a	
Espessura epiderme abaxial (μm)	7,63 $\pm$ 0,72	a		7,98 $\pm$ 1,71	a		8,79 $\pm$ 1,30	a	
Espessura do tecido de expansão (μm)	133,13 $\pm$ 23,79	ab		123,33 $\pm$ 25,00	b		157,23 $\pm$ 21,63	a	
Altura células buliformes (μm)	76,61 $\pm$ 15,68	a		74,83 $\pm$ 15,02	a		80,40 $\pm$ 6,43	a	
Índice estomático	0,085 $\pm$ 0,008	ab		0,077 $\pm$ 0,007	b		0,092 $\pm$ 0,008	a	

4.4 Trocas gasosas e fluorescência de clorofila

Nas análises de trocas gasosas e fluorescência de clorofila em folhas de *Allagoptera campestris* às 09h (T1), 11h (T2), 14h (T3) e 16h (T4) do dia, nas três áreas, assim como observado na anatomia foliar quantitativa, a maior parte das diferenças está entre as plantas que crescem no SBP e as plantas da área CER (Figs. 6A-D).

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*) ao longo do dia é expressivamente maior no CEN e na área CER e menor no SBP. Apenas no T1 os valores de *A* não diferiram entre as áreas. Sendo que no T2 os valores de *A* para o SBP foram 34% e 32% menores em relação ao CEN e a área CER, respectivamente. No T3 o valor de *A* foi 54% maior na área CER em comparação com o SBP. No CEN as plantas apresentaram valor intermediário, não diferindo das demais áreas. No T4 as plantas no CEN e no CER apresentaram valores 29% maiores que as plantas no SBP (Fig. 6A).

A condutância estomática (*g_s*) no T1 foi 53% e 49% menor no SBP em relação aos valores das áreas CER e CEN, respectivamente. Os valores médios de *g_s* no T2, T3 e T4 não diferiram entre as áreas (Fig. 6B). A concentração intercelular de CO₂ (*C_i*) também diferiu no T1, sendo 27% e 22% maior no CER e CEN, respectivamente, em comparação ao valor de *C_i* no SBP. No T2, diferentemente do T1, as plantas no SBP apresentaram valor de *C_i* 12% maior que as plantas do CEN e do CER. No T3 e T4 os valores médios de *C_i* não diferiram entre as áreas (Fig. 6C). A taxa de transpiração (*E*) no T1 foi 48% menor no SBP em relação aos valores observados no CEN e no CER. Os valores de *E* no T2, T3 e T4 não diferiram entre as áreas (Fig. 6D).

Figura 6. Trocas gasosas de *Allagoptera campestris* no CEN, SBP e CER ao longo do dia. (A) Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A). (B) Condutância estomática (g_s). (C) Concentração intercelular de CO₂ (C_i). (D) Taxa de transpiração (E). Diferentes letras denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

A eficiência do fotossistema 2 (*PhiPS2*) ao longo do dia foi expressivamente maior na área CER e menor nas plantas do SBP. No T1 as plantas do SBP apresentaram valor de *PhiPS2* 43% menor que as plantas da área CER. No CEN foi observado valor intermediário, não diferindo das demais áreas. No T2 o valor de *PhiPS2* no SBP foi 33% menor em relação aos valores observados no CEN e na área CER. No T3 as plantas no CER apresentaram valor de *PhiPS2* 42% e 32% maior que as plantas no SBP e no CEN, respectivamente. No T4 a área CER apresentou valor de *PhiPS2* 32% maior que o SBP. O CEN apresentou valor de *PhiPS2* intermediário, não diferindo das demais áreas (Fig. 7A).

A temperatura do ar (*T_{air}*) no T1 não diferiu entre as áreas. No T2 o CEN apresentou maior *T_{air}* (31,7 °C) que as áreas CER (30,1 °C) e SBP (29,7 °C). No T3 a *T_{air}* foi maior na área CER (35,2 °C) e menor no CEN (33,4 °C). O SBP apresentou valor intermediário (33,9 °C), não diferindo das demais áreas. No T4 a área CER também apresentou maior *T_{air}* (33,9 °C), seguida pelo SBP (33,1 °C) e CEN (32,4 °C) (Fig. 7B).

A temperatura da folha (*Tleaf*) ao longo do dia apresentou entre as áreas as mesmas diferenças observadas na *Tair*. O T1 não diferiu entre as áreas. No T2 o CEN apresentou maior *Tleaf* (31,8 °C) que as áreas CER (30,1 °C) e SBP (29,8 °C). No T3 a *Tleaf* foi maior no CER (35,2 °C) e menor no CEN (33,5 °C). O SBP apresentou valor intermediário (34 °C), não diferindo das demais áreas. No T4 a área CER também apresentou maior *Tleaf* (34 °C), seguida pelo SBP (33,2 °C) e CEN (32,4 °C) (Fig. 7C).

A radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) no T1 foi maior na área CER e menor no SBP. O CEN apresentou valor intermediário de *PAR*, não diferindo das demais áreas. No T2, T3 e T4 os valores de *PAR* não diferiram entre as áreas (Fig. 7D). Foi observada grande variação nos valores de *PAR* em todas as medições nas três áreas.

Figura 7. Fluorescência de clorofila (A) em *Allagoptera campestris* e variáveis ambientais (B, C, D) no CEN, SBP e CER ao longo do dia. (A) Eficiência do fotossistema 2 (*PhiPS2*). (B) Temperatura do ar (*Tair*). (C) Temperatura da folha (*Tleaf*). (D) Radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*). Diferentes letras denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Os valores calculados pela integração trapezoidal (AUC – area under the curve) para *A*, *g_s* e *E* foram maiores nas plantas presentes nas áreas CEN e CER em relação às plantas presentes no SBP. Os valores para *Ci* não diferiram entre as três áreas de estudo. Os valores

de AUC para *PhiPS2* foram maiores nas plantas presentes no CER em comparação com as plantas no SBP. O CEN apresentou valor intermediário, não diferindo das demais áreas (Tabela 3).

Tabela 3. Valores das áreas abaixo das curvas para as plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), taxa de transpiração (*E*) e eficiência do fotossistema 2 (*PhiPS2*). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Parâmetros	CEN		SBP		CER	
<i>A</i> (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	112,4	a	76,9	b	119,3	a
<i>g_s</i> (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	1,9	a	1,4	b	1,8	a
<i>C_i</i> (μmol CO ₂ m ⁻¹)	1902,5	a	1924,2	a	1845,1	a
<i>E</i> (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	60,9	a	44,1	b	60,0	a
<i>PhiPS2</i> (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	1,9	ab	1,4	b	2,3	a

4.5 Morfometria dos órgãos subterrâneos

A morfometria dos órgãos subterrâneos de *Allagoptera campestris* foi analisada através de medições do comprimento e diâmetro do rizoma, comprimento e diâmetro das três maiores raízes e contagem do número de raízes (Tabela 4).

O rizoma de *Allagoptera campestris* geralmente apresenta formato de saxofone (Fig. 8C), sendo raramente observados sem esse formato (Fig. 1D). Seus valores médios de comprimento e diâmetro não diferiram entre as áreas estudadas (Tabela 4).

O número de raízes das plantas no CER foi maior em comparação com as plantas no CEN. As plantas no SBP apresentaram número intermediário, não diferindo das demais áreas. Os valores de comprimento das raízes não diferiram entre as áreas. Quanto ao diâmetro das raízes, as plantas no CER apresentaram valores maiores em relação às plantas no CEN. As plantas no SBP apresentaram valor intermediário, não diferindo dos valores observados nas outras áreas (Tabela 4).

Tabela 4. Morfometria (média $\pm$ desvio padrão) dos órgãos subterrâneos de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Parâmetros	CEN		SBP		CER	
Comprimento do rizoma (cm)	46,8 $\pm$ 4,9	a	67,7 $\pm$ 12,8	a	60,3 $\pm$ 6,9	a
Diâmetro do rizoma (cm)	37,0 $\pm$ 6,4	a	31,0 $\pm$ 0,8	a	28,7 $\pm$ 7,9	a
Número de raízes	54,7 $\pm$ 4,5	b	86,7 $\pm$ 25,0	ab	143,0 $\pm$ 19,3	a
Comprimento da raiz (cm)	66,2 $\pm$ 10,5	a	63,9 $\pm$ 19,9	a	67,6 $\pm$ 9,3	a
Diâmetro da raiz (cm)	0,29 $\pm$ 0,0	b	0,33 $\pm$ 0,0	ab	0,44 $\pm$ 0,1	a

4.6 Análises colorimétricas de carboidratos, fenólicos e flavonoides totais

Nas análises colorimétricas de carboidratos, fenólicos e flavonoides totais dos rizomas de *Allagoptera campestris* das três áreas estudadas, apenas não foram observadas diferenças nas concentrações de flavonoides totais (Tabela 5). A concentração de carboidratos totais diferiu entre as três áreas, sendo maior no SBP em relação às demais áreas, seguido pelo CER que também foi significativamente maior que o CEN. Inversamente, a concentração de fenólicos totais foi maior no CEN em comparação com o SBP e o CER (Tabela 5).

Tabela 5. Concentrações de carboidratos, fenólicos e flavonoides totais dos rizomas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Constituintes Químicos	CEN		SBP		CER	
Carboidratos totais (g 100 g ⁻¹)	2,51 $\pm$ 0,0	c	2,63 $\pm$ 0,0	a	2,57 $\pm$ 0,0	b
Fenólicos totais (mg 100 g ⁻¹)	211,0 $\pm$ 2,0	a	203,7 $\pm$ 2,2	b	199,0 $\pm$ 3,3	b
Flavonoides totais (μ g 100 g ⁻¹)	66,7 $\pm$ 2,0	a	68,9 $\pm$ 2,0	a	68,7 $\pm$ 0,7	a

4.7 Avaliação do banco de gemas

Como as plantas de *A. campestris* eram todas acaulescentes (Fig. 8A) com as folhas em dispostas próximas ou no nível do solo, as gemas axilares estavam todas concentradas na porção proximal do rizoma protegidas pelas bainhas das folhas (Fig. 8B). No CER foi possível observar bainhas queimadas e as gemas sem danos visíveis. Não foram verificadas gemas axilares ao longo do rizoma (Fig. 8C). O número de gemas variou entre os três indivíduos das áreas, ou seja, no CEN (7, 10, 5), no SBP (9, 3, 2) e no CER (9, 10, 3).

Figura 8. Indivíduo de *Allagoptera campestris*. A. Aspecto geral de *A. campestris*. B. Região proximal do rizoma onde se observam as gemas axilares (pontas de seta) protegidas pelas bainhas foliares. C. Detalhe do rizoma. Barras: 5 cm (B); 10 cm (C).

4.8 Resposta ao corte raso da parte aérea

Os valores médios de comprimento da maior folha, número de folhas maduras e número de folhas jovens fechadas (*leaf spear*) das plantas de *Allagoptera campestris* mostram que, antes do corte raso da parte aérea (Fig. 9A), havia diferença entre as plantas das áreas analisadas (Fig. 10A-C, Tabela 6).

O comprimento médio da maior folha das plantas no SBP foi maior em relação às plantas da área CER. No entanto, a relação foi inversa quando analisado o número de folhas maduras, ou seja, plantas do CER produziram mais folhas maduras que as plantas no SBP. No CEN as plantas apresentaram valor intermediário para esses dois parâmetros, não diferindo das demais áreas (Fig. 10A, B, Tabela 6). O número médio de folhas jovens fechadas não diferiu entre as plantas das três áreas (Fig. 10C, Tabela 6).

Tabela 6. Morfometria (média $\pm$ desvio padrão) de *Allagoptera campestris* antes do corte raso da parte aérea no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras nas linhas denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Morfometria de <i>Allagoptera campestris</i> antes do corte raso de parte aérea						
Parâmetros	CEN		SBP		CER	
Comprimento da maior folha (cm)	87,6 $\pm$ 12,9	ab	104,4 $\pm$ 14,4	a	77,4 $\pm$ 5,9	b
Número de folhas maduras	4,9 $\pm$ 1,8	ab	4,2 $\pm$ 0,6	b	6,1 $\pm$ 1,6	a
Número de folhas jovens fechadas	1,0 $\pm$ 0,4	a	0,8 $\pm$ 0,4	a	1,1 $\pm$ 0,3	a

Nas três áreas de estudo, 24 horas após o corte raso da parte aérea das plantas de *A. campestris*, já era possível observar cerca de 1,0 cm de parte aérea rebrotada (Fig. 9B).

Figura 9. Indivíduo de *Allagoptera campestris* na área de Cerrado (CEN) antes (A) e 24 horas após (B) o corte raso da parte aérea. A seta indica a estrutura rebrotada. Barra = 1 cm.

A análise do valor médio de comprimento da maior folha do 2º ao 12º mês após o corte da parte aérea mostrou que, ao longo de todo o período considerado, os valores foram maiores no CEN em relação ao CER. Por sua vez, no SBP o comprimento médio das folhas não diferiu do CEN ao longo de todo o período, mas também foi mais elevado que na área em regeneração no 6º, 8º e 12º mês (Fig. 10A, Tabela 7).

Tabela 7. Comprimento da maior folha (média $\pm$ desvio padrão) ao longo de 12 meses após o corte raso da parte aérea das plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras nas linhas denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Meses	CEN		SBP		CER	
2º mês	63,5 $\pm$ 13,8	a	55,3 $\pm$ 16,7	ab	46,0 $\pm$ 9,6	b
4º mês	78,5 $\pm$ 19,4	a	71,6 $\pm$ 17,8	ab	57,2 $\pm$ 7,6	b
6º mês	85,0 $\pm$ 15,7	a	75,6 $\pm$ 13,9	a	58,4 $\pm$ 10,0	b
8º mês	79,9 $\pm$ 18,8	ab	83,8 $\pm$ 11,9	a	62,7 $\pm$ 12,6	b
10º mês	90,8 $\pm$ 14,5	a	90,1 $\pm$ 12,5	a	69,8 $\pm$ 7,6	b
12º mês	90,7 $\pm$ 11,0	a	94,3 $\pm$ 12,1	a	71,0 $\pm$ 6,2	b

O número médio de folhas maduras formadas não diferiu no 2º e no 6º mês entre as três áreas (Fig. 10B). Porém, as plantas do CER produziram número médio de folhas maior do que as plantas das demais áreas nos demais períodos, exceto no 4º mês em relação às plantas do SBP (Fig. 10B, Tabela 8).

Tabela 8. Número de folhas maduras (média $\pm$ desvio padrão) ao longo de 12 meses após o corte raso da parte aérea das plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras nas linhas denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Meses	CEN		SBP		CER	
2° mês	2,4 $\pm$ 0,7	a	1,9 $\pm$ 0,8	a	2,7 $\pm$ 0,6	a
4° mês	2,9 $\pm$ 0,6	ab	2,6 $\pm$ 0,5	b	3,4 $\pm$ 0,7	a
6° mês	3,1 $\pm$ 0,6	a	2,6 $\pm$ 0,7	a	3,4 $\pm$ 0,9	a
8° mês	2,5 $\pm$ 0,5	b	2,6 $\pm$ 0,7	b	5,1 $\pm$ 2,3	a
10° mês	4,2 $\pm$ 1,4	b	3,2 $\pm$ 0,4	b	6,4 $\pm$ 1,8	a
12° mês	5,1 $\pm$ 1,8	b	3,5 $\pm$ 0,7	b	6,9 $\pm$ 1,4	a

Para o número médio de folhas jovens fechadas (*leaf spear*) houve variação na resposta ao longo dos meses analisados após o corte da parte aérea (Fig. 10C). No 2° mês, o maior valor foi obtido para o CER e o menor valor no SBP. No CEN o valor foi intermediário e não diferiu das outras duas áreas. No 4° mês, o número médio de folhas jovens não diferiu entre as áreas. No 6° e 8° mês, o número médio de folhas jovens fechadas foi maior no CEN e menor no CER. O SBP apresentou valor intermediário de folhas jovens fechadas, não diferindo das demais áreas. Aos 10 e 12 meses após o corte, o número de folhas jovens fechadas não diferiu entre as áreas (Fig. 10C, Tabela 9).

Tabela 9. Número de folhas jovens fechadas (média $\pm$ desvio padrão) ao longo de 12 meses após o corte raso da parte aérea das plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras nas linhas denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Meses	CEN		SBP		CER	
2° mês	1,1 $\pm$ 0,3	ab	1,0 $\pm$ 0,0	b	1,6 $\pm$ 0,7	a
4° mês	0,6 $\pm$ 0,5	a	0,5 $\pm$ 0,5	a	1,0 $\pm$ 1,2	a
6° mês	0,8 $\pm$ 0,6	a	0,7 $\pm$ 0,5	ab	0,1 $\pm$ 0,3	b
8° mês	0,9 $\pm$ 0,7	a	0,3 $\pm$ 0,5	ab	0,1 $\pm$ 0,3	b
10° mês	0,8 $\pm$ 0,6	a	0,5 $\pm$ 0,5	a	0,6 $\pm$ 0,8	a
12° mês	0,6 $\pm$ 0,7	a	0,8 $\pm$ 0,4	a	0,8 $\pm$ 0,6	a

Somente a partir do 4º mês após o corte da parte aérea foram observadas as estruturas reprodutivas (Fig. 10D). Inicialmente apenas as inflorescências ainda fechadas, mas no decorrer dos meses espigas abertas com flores e frutos. Até o 10º mês não houve diferença entre as áreas quanto ao número médio de órgãos reprodutivos. Porém, no 12º mês as plantas do SBP apresentaram o menor número médio de órgãos reprodutivos que as demais áreas, as quais não diferiram entre si (Fig. 10D, Tabela 10).

Tabela 10. Número de órgãos reprodutivos (média $\pm$ desvio padrão) ao longo de 12 meses após o corte raso da parte aérea das plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras nas linhas denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas.

Meses	CEN		SBP		CER	
2º mês	0,0 $\pm$ 0,0	a	0,0 $\pm$ 0,0	a	0,0 $\pm$ 0,0	a
4º mês	0,3 $\pm$ 0,5	a	0,3 $\pm$ 0,5	a	0,9 $\pm$ 1,0	a
6º mês	0,8 $\pm$ 0,8	a	0,5 $\pm$ 0,5	a	1,4 $\pm$ 1,3	a
8º mês	1,0 $\pm$ 0,9	a	0,4 $\pm$ 0,5	a	1,4 $\pm$ 1,5	a
10º mês	0,7 $\pm$ 0,7	a	0,3 $\pm$ 0,5	a	1,0 $\pm$ 0,9	a
12º mês	1,1 $\pm$ 0,7	a	0,1 $\pm$ 0,3	b	1,0 $\pm$ 0,9	a

Figura 10. Resposta ao corte raso da parte aérea de *Allagoptera campestris* ao longo de 12 meses nas áreas de Cerrado natural (CEN), sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e área de Cerrado em regeneração (CER). (A) Comprimento médio da maior folha. (B) Número médio de folhas maduras. (C) Número médio de folhas jovens fechadas. (D) Número de órgãos reprodutivos. Diferentes letras denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas das três áreas. No eixo x, zero = antes do corte raso.

Das 10 plantas que tiveram sua parte aérea cortada no CER uma delas não rebrotou, pois o corte deve ter comprometido a porção proximal do rizoma. E, no 2º mês após o corte raso, observamos que uma planta no CEN também morreu pelo comprometimento do ápice caulinar provavelmente causado pela coleobroca *Rhynchophorus palmarum* L..

É interessante observar que, após um ano, as plantas de *Allagoptera campestris* apresentam valores similares dos parâmetros analisados antes de ser efetuado o corte raso da parte aérea (Fig. 9), apenas foi observada diferença no número de folhas jovens fechadas no CEN (Tabela 11).

Tabela 11. Comparação da morfometria (média $\pm$ desvio padrão) antes e 12 meses após o corte raso da parte aérea das plantas de *Allagoptera campestris* no Cerrado natural (CEN), no sub-bosque de *Pinus* sp. (SBP) e na área de Cerrado em regeneração (CER). Diferentes letras em uma mesma linha denotam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre as plantas na mesma área. T0= antes do corte raso; T12= 12 meses após o corte raso.

Parâmetros	CEN			
	T0		T12	
Comprimento da maior folha (cm)	87,6 $\pm$ 12,9	a	90,7 $\pm$ 11,0	a
Número de folhas maduras	4,9 $\pm$ 1,8	a	5,1 $\pm$ 1,8	a
Número de folhas jovens fechadas	1,0 $\pm$ 0,4	a	0,6 $\pm$ 0,7	b
	SBP			
	T0		T12	
Comprimento da maior folha (cm)	104,4 $\pm$ 14,4	a	94,3 $\pm$ 12,1	a
Número de folhas maduras	4,2 $\pm$ 0,6	a	3,5 $\pm$ 0,7	a
Número de folhas jovens fechadas	0,8 $\pm$ 0,4	a	0,8 $\pm$ 0,4	a
	CER			
	T0		T12	
Comprimento da maior folha (cm)	77,4 $\pm$ 5,9	a	71,0 $\pm$ 6,2	a
Número de folhas maduras	6,1 $\pm$ 1,6	a	6,9 $\pm$ 1,4	a
Número de folhas jovens fechadas	1,1 $\pm$ 0,3	a	0,8 $\pm$ 0,6	a

5. DISCUSSÃO

As diferenças morfoanatômicas, fisiológicas e químicas observadas entre as plantas de *Allagoptera campestris* das três áreas de estudo, bem como as diferenças na morfometria em resposta ao corte raso da parte aérea, permitiram esclarecer as características que conferem plasticidade ante as diferentes condições de crescimento, ou seja, o sombreamento causado pelo dossel e a camada de acículas sobre a superfície do solo no SBP, a total exposição à luz solar das plantas e do solo na área CER e, a exposição parcial das plantas e do solo à luz solar devido à vegetação natural do Cerrado no CEN.

Quando presentes em áreas sombreadas, as plantas geralmente apresentam folhas maiores (Araújo *et al.*, 2017; Rezai *et al.*, 2018), buscando por maior captação de luz, visto que, folhas maiores possuem maior área de contato com a radiação fotossinteticamente ativa (Corrêa *et al.*, 2020). Essa estratégia também é conhecida como estiolamento (Morais *et al.*, 2003). De fato, as plantas no SBP apresentam maior comprimento total das folhas que as plantas no CEN e no CER, o comprimento da lâmina foliar no SBP também é maior em comparação com as plantas no CEN. Corrêa *et al.* (2020) observaram que as plantas das monocotiledôneas *Vriesea neoglutinosa* e *V. procera* (Bromeliaceae) sob sombreamento também apresentavam maior comprimento foliar em comparação com as plantas totalmente expostas à luz solar.

As plantas na área CER possuem folhas menores em comparação com as plantas no SBP, entretanto, apresentam maior número de folhas e de pinas. Esses atributos podem proporcionar um auto-sombreamento, o que acaba reduzindo a exposição à luz solar, diminuindo diretamente a perda de água (Morais *et al.*, 2003) e os danos fotossintéticos causados pela alta radiação. Nakazono *et al.* (2001) observaram que a palmeira *Euterpe edulis* apresenta maior número de folhas conforme maior incidência à luz solar.

As superfícies adaxial e abaxial da lâmina foliar de *Allagoptera campestris* são recobertas por ceras epicuticulares. Essas ceras podem atuar contra a perda de água por transpiração (Oliveira *et al.*, 2003; Müller & Riederer, 2005), como uma camada fotoprotetora (Müller & Riederer, 2005; Shepherd *et al.*, 2006), contra invasão de patógenos e, em casos excepcionais, como defesa mecânica (Müller & Riederer, 2005). Na superfície abaxial, apenas na lâmina foliar das plantas nas áreas CEN e CER, as ceras epicuticulares formam cilindros ocos ao redor dos estômatos, também conhecidos como chaminés estomáticas (Barthlott *et al.*, 1998), que podem conferir ainda mais proteção contra a perda de água, em razão de

proporcionarem menor incidência de luz solar sobre os estômatos. A formação dessas estruturas em *A. campestris* pode ter sido influenciada pela alta temperatura que as duas áreas apresentam, posto que, estruturas complexas de cera epicuticular, como as chaminés estomáticas, podem ser formadas em altas temperaturas (Shepherd *et al.*, 2006). Ainda segundo os autores, além da temperatura, a morfologia da cera é influenciada pela intensidade de luz e pela umidade. Aparentemente, essas variáveis ambientais influenciaram a formação das chaminés estomáticas em *A. campestris*, porém, como esses parâmetros tendem a atuar juntos, é difícil distinguir seus respectivos efeitos. Além disso, as estruturas de ceras estabelecidas também podem se transformar em outras formas se as condições ambientais mudarem (Shepherd *et al.*, 2006).

Na lâmina foliar das plantas no SBP a deposição de cera epicuticular na superfície abaxial é maior em comparação com as demais áreas, o que impossibilita a visualização dos estômatos. Assim como observado na lâmina foliar de *Allagoptera campestris* no SBP, na superfície foliar de *A. arenaria* o depósito de cera epicuticular não possibilita a visualização dos estômatos através da microscopia eletrônica de varredura, sendo necessária a remoção da cera epicuticular com n-hexano ou clorofórmio para conseguir observar os estômatos (Defaveri *et al.*, 2015). Os mesmos autores, através da análise de cortes transversais da pina das folhas de *A. arenaria*, descreveram que as ceras epicuticulares formam chaminés estomáticas, porém, como observado ao MEV, a cera epicuticular recobre totalmente os estômatos, não caracterizando as chaminés, visto que, conforme Barthlott *et al.* (1998), as chaminés estomáticas são caracterizadas por cilindros ocos formados por cristaloides ou agregações de cristaloides ao redor dos estômatos. Da mesma maneira que foi observado em *A. arenaria*, os cortes transversais da pina de *A. campestris* também mostraram o total recobrimento dos estômatos pelas ceras epicuticulares sem a formação das chaminés no SBP. Sob o filme de cera epicuticular, em ambas as superfícies da folha, observou-se a cutícula como uma camada espessa, principalmente na superfície abaxial da lâmina foliar. A espessura da cutícula na face abaxial diferiu significativamente entre duas das três áreas, sendo que as plantas no CEN apresentaram cutícula mais espessa que as plantas no SBP. Geralmente, as plantas que crescem em áreas com sombreamento apresentam cutícula menos espessa que as plantas diretamente expostas à luz solar (Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Marques *et al.*, 2000; Rossatto & Kolb, 2010; Xie *et al.*, 2020) e as plantas diretamente expostas à luz solar apresentam cutícula mais espessa para diminuir a perda de água (Rossatto & Kolb, 2010) e, provavelmente, para aumentar a proteção contra a radiação solar, devido a

sua capacidade de refletância (Solovchenko & Merzlyak, 2003). De fato, as análises fisiológicas mostraram que os valores de transpiração foliar são menores no SBP em relação ao CEN.

A epiderme é uniestratificada apresentando células de paredes periclinais alongadas em relação às anticlinais curtas na face adaxial e células com tamanhos similares na face abaxial. Essas características diferem do observado na literatura, visto que, Pinedo *et al.* (2016) relataram que *Allagoptera campestris* apresenta o complexo de cutícula e parede periclinal externa mais fino, relacionando e afirmando que a espécie tem preferência por áreas sombreadas no Cerrado. No entanto, Moraes (1996) descreveu que todas as espécies de *Allagoptera* apresentam células epidérmicas com paredes periclinais externas espessas, principalmente na superfície adaxial. A espessura da epiderme das faces adaxial e abaxial da lâmina foliar não diferiu entre as áreas.

Allagoptera campestris apresenta lâmina foliar hipoestomática, essa característica pode promover proteção para os estômatos por não estarem diretamente expostos à luz solar (Oliveira *et al.*, 2016). Os estômatos braquiparahexacíticos estão distribuídos principalmente entre os feixes vasculares, ocorrendo num nível inferior às demais células epidérmicas, o que é uma característica adaptativa comum ao estresse hídrico (Pinedo *et al.*, 2016). Não foram observados estômatos anomocíticos nas folhas de *A. campestris* como descrito por Martins *et al.* (2015), o que corrobora com a não observação por Pinedo *et al.* (2016). Escassos estômatos braquiparahexacíticos são encontrados na superfície adaxial da lâmina foliar de *A. campestris* restritos à nervura central e ao bordo foliar, embora a espécie apresente lâmina foliar hipoestomática (Moraes, 1996; Pinedo *et al.*, 2016). Na lâmina foliar de *A. arenaria*, também descrita como hipoestomática, Defaveri *et al.* (2015) observaram estômatos braquiparahexacíticos restritos ao bordo foliar na superfície adaxial.

Neste estudo, observamos que o índice estomático foliar foi maior nas plantas crescendo na área CER em relação às plantas que se desenvolvem no SBP. A maior ocorrência de estômatos em folhas totalmente expostas à luz solar em relação às folhas submetidas a algum tipo de sombreamento também é descrita em outras espécies (Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Corrêa *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2018; Hanba *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2000; Rossatto & Kolb, 2010), em razão dos estômatos serem estruturas diretamente afetadas pelas condições de luminosidade, devido sua relação direta com a fotossíntese (Rossatto & Kolb, 2010). Os parâmetros relacionados aos estômatos como densidade e índice estomático, quando se comparam plantas de uma mesma

espécie em diferentes condições, são quase sempre estudados (Ashton & Berlyn, 1992; Ashton & Berlyn, 1994; Corrêa *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2018; Hanba *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2000; Rossatto & Kolb, 2010; Oliveira *et al.*, 2016), pois o aumento nos valores desses parâmetros proporcionam maiores valores de condutância estomática das plantas (Galmés *et al.*, 2007; Justo *et al.*, 2005; Pearce *et al.*, 2006) e, consequentemente, diminui a temperatura das folhas (Lu *et al.*, 1994).

Ainda na superfície adaxial da lâmina foliar de *Allagoptera campestris* foi possível observar raros tricomas multicelulares, descritos como ausentes na espécie por Moraes (1996) e Pinedo *et al.* (2016) e apenas relatados, mas não ilustrados, por Martins *et al.* (2015). Tricomas também foram observados nas espécies *A. brevicalyx* (Moraes, 1996) e *A. leucocalyx* (Martins *et al.*, 2015). Os tricomas estão relacionados com a proteção das plantas, atuando principalmente como barreiras estruturais contra fatores bióticos e abióticos (Kim, 2019) e podem diferir quanto à forma, número e distribuição em uma mesma espécie devido aos diferentes ambientes em que crescem (Marques *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2005), o que não foi constatado no presente estudo.

O tecido de expansão, organizado em duas a cinco camadas de células, está sempre localizado próximo à nervura central delimitando-a. Em palmeiras as células buliformes estão presentes apenas na face abaxial da lâmina foliar, sendo importantes na distinção das espécies de *Allagoptera* (Pinedo *et al.*, 2016). As plantas no CER apresentam as camadas de células buliformes significativamente mais espessas que as plantas no SBP, possivelmente, para otimizar o enrolamento foliar por estarem totalmente expostas à luz solar, visto que, as células buliformes proporcionam o enrolamento foliar nas plantas (Melo *et al.*, 2007). O enrolamento das folhas diminui a exposição à luz solar (Oliveira *et al.*, 2016) e a perda de água por transpiração (Melo *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2016). Assim como a epiderme, a hipoderme também é uniestratificada, ao contrário das três ou quatro camadas adaxiais e uma ou duas camadas abaxiais descritas para o gênero por Moraes (1996), corroborando com o observado por Pinedo *et al.* (2016).

As fibras subepidérmicas na face adaxial são observadas em faixas contínuas ou grupos dispersos, enquanto na face abaxial, apenas em grupos isolados. Em ambas as faces da folha, as fibras ocorrem adjacentes ou entre as células da hipoderme, o que contraria a descrição de *Allagoptera caudescens* como a única espécie do gênero com fibras localizadas na hipoderme (Pinedo *et al.*, 2016).

O mesofilo é homogêneo e apresenta-se bastante compacto, interrompido apenas pelas diminutas câmaras subestomáticas na face abaxial, o que também é verificado em *A. arenaria* (Defaveri *et al.*, 2015). Observamos diferenças no número de camadas de células do mesofilo entre as áreas estudadas. No CER, onde há maior exposição da lâmina foliar à luz, o mesofilo possui um número maior de camadas de células (6 a 9) em relação ao CEN e ao SBP (5 a 7). A mesma tendência foi observada por Marques *et al.* (2000) em duas espécies de Melastomataceae crescendo em diferentes condições no Cerrado. Os autores também constataram que as folhas das plantas crescendo expostas à luz solar apresentaram mesofilo com maior número de camadas de células quando comparadas com as plantas que cresciam sob o sub-bosque da mata ripária. Por meio da metodologia aqui empregada foi possível observar, nas camadas mais centrais do mesofilo, idioblastos contendo cristais de oxalato de cálcio no formato de agulhas cristalinas, conhecidas como ráfides (Cuéllar-Cruz *et al.*, 2020). As ráfides estão relacionadas principalmente com proteção contra herbivoria (Cuéllar-Cruz *et al.*, 2020; Peschiutta *et al.*, 2020), característica ainda não relatada no gênero até o momento e considerada como ausente em todas as espécies de *Allagoptera* (Pinedo *et al.*, 2016). No entanto, estruturas nas camadas mais centrais do mesofilo que se assemelham aos idioblastos contendo ráfides aqui observados, foram descritos como glândulas secretoras para o gênero (Pinedo *et al.*, 2016), sendo necessária uma análise mais aprofundada dessas estruturas, visto que, quando realizados cortes delgados da lâmina foliar de *A. campestris* não é possível observar os idioblastos contendo ráfides, sua observação somente foi possível em cortes espessos da lâmina foliar.

A nervura central da pina é proeminente na face adaxial. A vascularização pode ser constituída por um único feixe, por um feixe maior e um menor, por um feixe maior e dois feixes menores do tipo colateral ou do tipo bicolateral. No entanto, Pinedo *et al.* (2016) descreveram a vascularização como bicolateral. A variação na vascularização aqui observada pode ser devido à região da nervura central analisada.

As nervuras laterais de *Allagoptera campestris* apresentam feixe vascular do tipo colateral, providos de bainha do feixe formada por uma camada externa descontínua de células parenquimáticas e uma camada interna contínua de fibras. Nas células parenquimáticas que constituem a camada externa, observam-se estrias de Caspary bem evidentes, também relatadas em Velloziaceae por Menezes (1971) e em outras Arecaceae por Botânico (2004). O bordo foliar apresenta apenas um feixe vascular do tipo colateral cuja bainha possui uma camada de células parenquimáticas e uma camada de fibras na porção mais

interna e várias camadas de fibras na porção mais externa. Nessa região da lâmina foliar a hipoderme pode se apresentar multiestratificada, sendo o bordo foliar de *A. campestris* levemente arredondado, entretanto, descrito como angular por Pinedo *et al.* (2016), sendo essa uma das características utilizadas na distinção entre as espécies de *Allagoptera* (Pinedo *et al.*, 2016). O bordo foliar pode ser ainda proeminente na superfície adaxial ou abaxial, ou pode não ser proeminente, assim como observado em *A. arenaria* (Defaveri *et al.*, 2015).

Foram verificadas inclusões de sílica junto às fibras vasculares e não vasculares e ao bordo foliar, característica ainda não descrita para *Allagoptera campestris*. Acredita-se que a presença de sílica nas folhas está relacionada com a defesa contra estresses bióticos e abióticos (Giordano *et al.*, 2020; Guntzer *et al.*, 2012), tendo em *A. campestris* sua distribuição localizada em regiões estratégicas da lâmina foliar, como as fibras constituintes do feixe vascular.

A maior espessura total da lâmina foliar associada ao maior índice estomático contribui para maiores taxas de assimilação líquida de CO₂ (*A*) (Smith *et al.*, 1997) como observado nas plantas de *Allagoptera campestris* presentes na área CER. Em contrapartida, as plantas no SBP com menor espessura total da lâmina foliar e menor índice estomático apresentaram os menores valores de assimilação líquida de CO₂. No entanto, os valores estimados de *A* das folhas de *A. campestris* ao redor de 15 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹ podem ser considerados elevados, o que confere às plantas condições de crescimento mesmo sob sombreamento. Valores aproximados foram observados para as palmeiras *Syagrus coronata* e *Acrocomia aculeata* na estação chuvosa, os quais foram significativamente maiores que os valores observados no período de seca (Oliveira *et al.*, 2016). De fato, as medidas em *A. campestris* foram realizadas em um dia de sol pleno com temperaturas elevadas, após alguns dias de chuva.

Os valores de radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) observados ao longo do dia nas áreas CEN e CER, quase sempre, estavam acima de 1.000 CO₂ m⁻² s⁻¹ e foram verificados valores próximos a 2.000 CO₂ m⁻² s⁻¹. No SBP observamos o oposto, visto que, em alguns momentos os valores de *PAR* estavam abaixo de 500 CO₂ m⁻² s⁻¹. De acordo com a curva de resposta à luz dessas palmeiras, valores acima de 500 CO₂ m⁻² s⁻¹ estão acima do ponto de inflexão, onde a planta não responde mais ao aumento de luz nessa faixa, como também observado para a palmeira *Acrocomia aculeata* (Dias *et al.*, 2018).

No primeiro momento do dia, as plantas de *Allagoptera campestris* no SBP apresentavam menor condutância estomática (g_s) e valores de A similares às plantas das outras áreas. Porém, ao longo do dia passou a apresentar os menores valores de A e valores de g_s semelhantes aos valores apresentados pelas plantas das outras áreas. Quando os valores foram calculados pela integração trapezoidal, verificou-se que as plantas de *A. campestris* presentes nas áreas CEN e CER apresentaram os maiores valores de A , g_s e E em relação às plantas no SBP. Rezai *et al.* (2018) também observaram que as plantas de *Salvia officinalis* (Lamiaceae) crescendo expostas diretamente à luz solar, apresentaram maiores valores de A e g_s em comparação com as plantas crescendo sob diferentes níveis de sombreamento. Os autores constataram ainda que, em *S. officinalis*, houve correlação positiva entre as taxas de A e g_s e a intensidade de luz.

Além da plasticidade observada nas folhas de *Allagoptera campestris*, o caule e as raízes também apresentam diferenças em resposta às condições de crescimento distintas. O número e o diâmetro das raízes são maiores nas plantas presentes na área CER em comparação com as plantas no CEN. As plantas no SBP também apresentam valores de diâmetro e número de raízes superiores em comparação com as plantas no CEN, porém, não diferiram significativamente. No CEN, as raízes apresentam comprimento médio de 66,2 cm. Entre as áreas, as plantas não apresentam diferenças no comprimento das raízes, porém, observamos valores superiores a 103 cm de comprimento, sendo relatado por Moraes (1996) que o valor do comprimento das raízes de *A. campestris* não excede 50 cm.

Nas plantas das três áreas o rizoma de *Allagoptera campestris* encontrava-se a 10 cm abaixo da superfície do solo e, geralmente apresentava formato de saxofone, sendo raramente observados sem esse formato (Moraes, 1996). Embora não tenham sido observadas diferenças significativas na morfometria do rizoma entre as três áreas, o comprimento médio (cm) do rizoma foi mais elevado no SBP ($67,7 \pm 12,8$), seguido do observado no CER ($60,3 \pm 6,9$) e no CEN ($46,8 \pm 4,9$). Foi interessante observar que os teores de carboidratos totais seguiram a mesma tendência, ou seja, os valores foram maiores para SBP seguidas pela área de CER e CEN. O armazenamento de água, nutrientes e compostos de reserva comuns aos rizomas (Silva & Rossatto, 2019) são essenciais para o rebrotamento (Appezatto-da-Glória, 2015; Clarke *et al.*, 2010; De Moraes *et al.*, 2016; Pausas *et al.*, 2018), pois são a fonte de carbono e energia até que a planta recupere suas folhas, e assim, sua capacidade fotossintética (De Moraes *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2012; Orthen, 2001).

Nos rizomas também podem ser acumulados compostos de proteção contra herbivoria e patógenos, como os compostos fenólicos, os quais estão associados ao mecanismo de adaptação e resistência das plantas ao ambiente (Jagiello *et al.*, 2019; Kubalt, 2016; Lattanzio *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2020). Nas folhas de *Aesculus hippocastanum* (Sapindaceae), Jagiello *et al.* (2019) constataram que as plantas cultivadas em condições de sol pleno apresentavam mais compostos fenólicos que as plantas cultivadas sob sombreamento. Nos rizomas de *Allagoptera campestris*, as plantas presentes no CEN apresentaram maior concentração de fenólicos totais que as plantas que crescem nas áreas com interferência direta ou indireta do *Pinus* sp., as quais não diferiram entre si. As plantas das três áreas não diferiram quanto às concentrações de flavonoides.

Dentre os diversos órgãos subterrâneos, cada órgão apresenta atributos em relação à morfogênese, organização dos tecidos de armazenamento e ao tipo de compostos armazenados (Appezato-da-Glória, 2015; De Moraes *et al.*, 2016). No entanto, o rebrotamento após distúrbios não depende apenas das reservas, mas também de um banco de gemas, que pode ser aéreo ou subterrâneo (Klimešová & Klimeš, 2007). Assim como, a rebrota também é determinada pelos recursos disponíveis para o banco de gemas e, pelo desenvolvimento e proteção das gemas (Clarke *et al.*, 2013). As plantas de *Allagoptera campestris* no CEN e na área CER apresentaram em média 7,3 gemas axilares e as plantas presentes no SBP apresentaram média de 4,7. Todas as gemas estavam presentes na região proximal do rizoma envolvidas pelas bainhas, as quais conferem proteção (Clarke *et al.*, 2013). Na área CER, que passou por evento de queimada em 2014, foram observadas gemas sem danos visíveis protegidas por bainhas queimadas. Não foi verificada ramificação axilar nas plantas analisadas e, segundo Tomlinson (1990) há uma possibilidade de que o gênero *Allagoptera* apenas se ramifique por divisão dicotômica do ápice caulinar. Portanto, a fragmentação do rizoma dificilmente possibilitaria a propagação vegetativa.

As rebrotas são comuns em palmeiras submetidas a impactos ambientais e espera-se um maior sucesso de sobrevivência para as espécies de caule subterrâneo cujo meristema apical caulinar fica protegido sob o solo ou abaixo da serrapilheira (Liesenfeld & Vieira, 2018). No presente estudo, após 24 horas da supressão da biomassa acima do solo pelo corte raso de *Allagoptera campestris*, a quase totalidade das plantas das três áreas já exibiam 1,0 cm de parte aérea resultante da retomada da atividade do meristema apical do rizoma. Liesenfeld e Vieira (2018) ao estudar o efeito do fogo em espécies de palmeiras verificaram que em *Attalea maripa*, *Geonoma acaulis* e *Astrocaryum ulei*, portadoras de caule

subterrâneo, o rebrotamento também se dava pela reativação do meristema apical. Os autores comentam, com base na descrição de Tomlinson (1990) do caule do tipo ‘Saxofone’, que o meristema apical subterrâneo apresenta-se curvo e associado à base das bainhas das folhas, formando um conjunto bastante compacto de tecidos o que poderia reduzir o fluxo de calor no meristema apical. Tal organização deve ter favorecido a proteção mecânica do ápice caulinar das plantas analisadas de *Allagoptera campestris* cujo formato do caule é de saxofone. De fato, considerando as três áreas, apenas uma planta não rebrotou e acabou morrendo no CER, pois o corte atingiu a região proximal do rizoma. No 2º mês após o corte raso, foi constatada mais uma planta morta, dessa vez, no CEN. Na região do ápice caulinar da planta morta foi encontrado um inseto adulto de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) causador da broca-do-olho. O besouro deve ter sido atraído por odores fermentados liberados pelo ferimento causado pelo facão utilizado no corte da parte aérea (Ferreira *et al.*, 2014).

Antes do corte raso da parte aérea, o comprimento médio da maior folha no SBP era de 104,4 cm, no CEN 87,6 cm e no CER 77,4 cm. Ao longo dos meses, as plantas do SBP e do CEN apresentaram os maiores valores médios de comprimento da maior folha em relação ao CER. Todavia, ao longo de quase todo o ano, após o corte raso, as plantas na área CER apresentaram o maior número de folhas maduras formadas, provavelmente, por causa da maior exposição à luz solar. Na palmeira *Euterpe edulis* o maior número de folhas está correlacionado com a maior incidência de luz solar (Nakazono *et al.*, 2001). As plantas utilizando-se das reservas para o rebrotamento, elas passam a depender de seu desempenho inicial pós-distúrbio para retomar sua capacidade fotossintética, e assim, sobreviver (Moreira *et al.*, 2012). Não foram observadas muitas diferenças no número de folhas jovens fechadas entre as áreas.

As plantas só passaram a apresentar estruturas reprodutivas a partir do 4º mês após o corte raso da parte aérea. Inicialmente apenas as inflorescências fechadas intumescidas, mas no decorrer dos meses inflorescências com flores e frutos. Algumas plantas no Cerrado podem apresentar rápida emissão de órgãos reprodutivos depois de distúrbios, como o fogo, podendo com 24 horas apresentar o início do florescimento (Fidelis *et al.*, 2019). As autoras, além de observar que *Bulbostylis paradoxa* depende do fogo para florescer, também verificaram que as plantas florescem após a remoção de suas folhas. O número de órgãos reprodutivos só diferiu um ano após o corte raso, no SBP as plantas apresentaram a menor média.

Nas três áreas estudadas, após um ano da realização do corte raso da parte aérea, as plantas de *Allagoptera campestris* voltaram a apresentar características morfométricas similares às aquelas que foram levantadas antes de ser realizado o corte raso, o que também evidencia a plasticidade de *A. campestris*.

O modo de rebrotamento de *Allagoptera campestris* associado à reativação da atividade do meristema apical caulinar na porção proximal do rizoma refuta a hipótese de Chediack (1999) de que a elevada densidade populacional de *A. campestris* em áreas de plantio de *Pinus* esteja associada ao rebrotamento de fragmentos do rizoma.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas de *Allagoptera campestris* apresentam plasticidade diante das diferentes condições encontradas na EEcSB, expressando diferenças nas características morfoanatômicas, fisiológicas e químicas dos órgãos vegetativos. As diferentes condições também influenciam a resposta ao corte raso da parte aérea das plantas, porém, não restringem seu potencial de voltar a apresentar os aspectos que apresentavam antes do corte raso. E, as plantas das três áreas estudadas respondem de maneira similar ao corte raso da parte aérea.

O rizoma, quando fragmentado, pode promover a reprodução vegetativa nas plantas rizomatosas, oportunizando a capacidade de adaptação a ambientes sujeitos a distúrbios. No entanto, o sucesso de *Allagoptera campestris* não está associado à fragmentação do rizoma, visto que, as gemas estão localizadas exclusivamente na porção proximal do rizoma, protegidas pelas bainhas foliares. Quando esta região é danificada por danos mecânicos ou herbivoria, a planta morre devido à perda das gemas.

Portanto, apesar da supressão das espécies nativas do Cerrado em áreas de cultivo de *Pinus* sp. devido à camada de acículas depositada sobre a superfície do solo e ao sombreamento causado pelo fechamento do dossel, *Allagoptera campestris* consegue se manter nos sub-bosques de *Pinus* sp. em virtude da sua plasticidade diante de condições adversas. Peculiaridades como exibir maior comprimento das folhas e da lâmina foliar devido ao sombreamento e apresentar baixo ponto de inflexão, ou seja, não exigir valores altos de radiação fotossinteticamente ativa para se ter um bom desempenho nas trocas gasosas, possibilitam a permanência de *A. campestris* nos sub-bosques de *Pinus* sp..

Ademais, características anatômicas ainda não relatadas para a espécie e para o gênero foram aqui descritas.

REFERÊNCIAS

- Abreu, R. C. R. D. 2013. Ecologia e controle da invasão de *Pinus elliottii* no campo cerrado. São Carlos, Universidade de São Paulo (tese de doutorado).
- Abreu, R. C. R. & Durigan, G. 2011. Changes in the plant community of a Brazilian grassland savannah after 22 years of invasion by *Pinus elliottii* Engelm. *Plant Ecology & Diversity*, 4(2-3), 269-278.
- Andreazzi, C. S.; Pires, A. & Fernandez, F. A. 2009. Mamíferos e palmeiras neotropicais: interações em paisagens fragmentadas. *Oecologia brasiliensis*, 13(4), 554-574.
- Appezato-da-Glória, B. 2015. Morfologia de sistemas subterrâneos de plantas. Belo Horizonte: 3i editora, 160 p.
- Araújo, C.; Ribeiro-júnior, N. G.; Eburneo, L. & Silva, I. 2017. Influência da luminosidade nas folhas de citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle). *Rev. Bras. Pl. Med*, 19(3), 311-317.
- Ashton, P. M. S. & Berlyn, G. P. 1992. Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist*, 121(4), 587-596.
- Ashton, P. M. S. & Berlyn, G. P. 1994. A comparison of leaf physiology and anatomy of *Quercus* (section *Erythrobalanus*-Fagaceae) species in different light environments. *American Journal of Botany*, 81(5), 589-597.
- Aubert, E. & Oliveira-Filho, A. D. 1994. Análise multivariada da estrutura fitossociológica do sub-bosque de plantios experimentais de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. *Árvore*, 18(3), 194-214.
- Barthlott, W.; Neinhuis, C.; Cutler, D.; Ditsch, F.; Meusel, I.; Theisen, I. & Wilhelmi, H. 1998. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Botanical journal of the Linnean society*, 126(3), 237-260.
- Botânico, M.P. 2004. Um estudo anatômico na subtribo Butinae (Arecaceae). Universidade de São Paulo (tese de doutorado).
- Brasil, M. M. A. 2014. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade. Disponível: <<https://www.mma.gov.br/biodiversidade/conservacao-de-especies/fauna-ameacada/fauna.html>> (acesso em maio de 2020).

- Buckman, H. O. & Brady, N. C. 1979. Natureza e propriedades dos solos: compêndio universitário sobre edafologia. Tradução: Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 647 p.
- Chediack, S. E. 1999. The small palm (*Allagoptera campestris*) in Misiones, Argentina. *Palms*, 43, 166-169.
- Christenhusz, M. J. & Byng, J. W. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3), 201-217.
- Clarke, P. J.; Lawes, M. J. & Midgley, J. J. 2010. Resprouting as a key functional trait in woody plants — challenges to developing new organizing principles. *The New Phytologist*, 188(3), 651-654.
- Clarke, P. J.; Lawes, M. J.; Midgley, J. J.; Lamont, B. B.; Ojeda, F.; Burrows, G. E.; Enright, N. J. & Knox, K. J. E. 2013. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist* 197, 19-35.
- Corrêa, L. M. C.; Arrivabene, H. P. & Milanez, C. R. D. 2020. Leaf morpho-anatomical and physiological plasticity of two *Vriesea* species (Bromeliaceae) in Atlantic Coast restingas (Brazil). *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 71706-71727.
- Costa, B. N.; Costa, I. J.; Souza, G. A.; Santos, D. N.; Silveira, F. A.; Melo, E. T.; Martins, A. D.; Pasqual, M.; Setotaw, T. A. & Rodrigues, F. A. 2018. Anatomical modifications of *Butia capitata* propagated under colored shade nets. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4), 3615-3624.
- Cuéllar-Cruz, M.; Pérez, K. S.; Mendoza, M. E. & Moreno, A. 2020. Biocrystals in plants: A short review on biomineralization processes and the role of phototropins into the uptake of calcium. *Crystals*, 10(7), 591.
- Dalponte, J. C. & Lima, E. D. S. 1999. Disponibilidade de frutos e a dieta de *Lycalopex vetulus* (Carnivora-Canidae) em um cerrado de Mato Grosso, Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 22, 325-332.
- Defaveri, A. C. A.; Barros, C. F.; Arruda, R. C. O.; Simas, N. K. & Sato, A. 2015. *Allagoptera arenaria* (Arecaceae): Leaf anatomy of a palm from the Brazilian shore. *Brittonia*, 67(4), 336-349.

- De Moraes, M. G.; De Carvalho, M. A. M.; Franco, A. C.; Pollock, C. J. & Figueiredo-Ribeiro, R. D. C. L. 2016. Fire and drought: soluble carbohydrate storage and survival mechanisms in herbaceous plants from the Cerrado. *BioScience*, 66(2), 107-117.
- Dias, A. N.; Siqueira-Silva, A. I.; Souza, J. P.; Kuki, K. N. & Pereira, E. G. 2018. Acclimation responses of macaw palm seedlings to contrasting light environments. *Scientific reports*, 8(1), 1-13.
- Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. T. & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Durigan, G.; Baitello, J. B.; Franco, G. A. D. C. & Siqueira, M. F. 2004. *Plantas do Cerrado Paulista: imagens de uma paisagem ameaçada*. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 475 p.
- Ferraz, A.; Mendonça, R. & Silva, F. T. 2000. Organosolv delignification of white-and brown-rotted *Eucalyptus grandis* hardwood. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 75(1), 18-24.
- Ferreira, J. M. S.; Teodoro, A. V.; Junior, A. S. N. & Guzzo, E. C. 2014. Manejo integrado da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Comunicado Técnico* 141.
- Fidelis, A.; Rosalem, P.; Zanzarini, V.; Camargos, L. S. & Martins, A. R. 2019. From ashes to flowers: a savanna sedge initiates flowers 24 h after fire. *Ecology*, 100(5), e02648.
- Galmés, J.; Flexas, J.; Savé, R. & Medrano, H. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant and Soil*, 290(1-2), 139-155.
- Gerlach, D. 1984. *Botanische mikrotechnik*. Georg Thieme Verlag.
- Giordano, C.; Maleci, L.; Agati, G. & Petruccelli, R. 2020. *Ficus carica* L. leaf anatomy: Trichomes and solid inclusions. *Annals of Applied Biology*, 176(1), 47-54.
- Guntzer, F.; Keller, C. & Meunier, J. D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 201-213.

- Hanba, Y. T.; Kogami, H. & Terashima, I. 2002. The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. *Plant, Cell & Environment*, 25(8), 1021-1030.
- Henderson, A.; Galeano, G. & Bernal, R. 2019. Field guide to the palms of the Americas. Princeton University Press.
- Horridge, G. A. & Tamm, S. L. 1969. Critical point drying for scanning electron microscopic study of ciliary motion. *Science*, 163(3869), 817-818.
- Jagiello, R.; Baraniak, E.; Guzicka, M.; Karolewski, P.; Lukowski, A. & Giertych, M. J. 2019. One step closer to understanding the ecology of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): The effects of light conditions. *European Journal of Entomology*, 116.
- Jensen, W. A. 1962. Botanical histochemistry: principles and practice. W. H. Freeman, 408 p.
- Justo, C. F.; Soares, Â. M.; Gavilanes, M. L. & Castro, E. M. D. 2005. Plasticidade anatômica das folhas de *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). *Acta Botanica Brasilica*, 19(1), 112-123.
- Karnovsky, M. J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *The Journal of Cell Biology*, 27(2), 1A-149A.
- Kim, K. W. 2019. Plant trichomes as microbial habitats and infection sites. *European Journal of Plant Pathology*, 154(2), 157-169.
- Klimešová, J. & Klimeš, L. 2007. Bud banks and their role in vegetative regeneration – a literature review and proposal for simple classification and assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8(3), 115-129.
- Kubalt, K. 2016. The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnol. Food Sci.*, 80, 97–108.
- Kuster, V. C.; Da Silva, L. C.; Possatti, L. & Schneider, S. Z. 2018. Leaf morphology and anatomy of *Jacquinia armillaris* Jacq. (Primulaceae) from two coastal Restinga environments. *Iheringia. Série Botânica.*, 73(3), 240-249.
- Lattanzio, V.; Lattanzio, V. M. & Cardinali, A. 2006. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. *Phytochemistry: Advances in research*, 661(2), 23-67.

- Leitman, P.; Soares, K.; Henderson, A.; Noblick, L. & Martins, R. C. 2015. Arecaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB53>> (acesso em março de 2020).
- Liesenfeld, M. V. A. & Vieira, G. 2018. Postfire palm resprouting in the Amazonian Forest: Are underground stems an advantage?. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 16(31), 11-23.
- Lu, Z.; Radin, J. W.; Turcotte, E. L.; Percy, R. & Zeiger, E. 1994. High yields in advanced lines of Pima cotton are associated with higher stomatal conductance, reduced leaf area and lower leaf temperature. *Physiologia Plantarum*, 92(2), 266-272.
- Luque, R.; Sousa, H. C. D. & Kraus, J. E. 1996. Métodos de Coloração de Roeser (1972) modificado e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alcião 8GS e 8GX. *Acta Bot. Bras.*, 10(2), 199-211.
- Marques, A. R.; Garcia, Q. S. & Fernandes, G. W. 1999. Effects of sun and shade on leaf structure and sclerophylly of *Sebastiania myrtilloides* (Euphorbiaceae) from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, 21-27.
- Marques, A. R.; Garcia, Q. S.; Rezende, J. L. P. & Fernandes, G. W. 2000. Variations in leaf characteristics of two species of *Miconia* in the Brazilian cerrado under different light intensities. *Tropical Ecology*, 41(1), 47-60.
- Martins, R. C.; Filgueiras, T. S. & Albuquerque, U. P. 2014. Use and diversity of palm (Arecaceae) resources in central western Brazil. *The Scientific World Journal*, 1-14.
- Martins, R. C.; Filgueiras, T. S.; Graciano-Ribeiro, D. & Somavilla, N. S. 2015. A new species of *Allagoptera* (Arecaceae) from the Cerrado of central Brazil. *Phytotaxa*, 197(2), 115-124.
- Melo, A. C. G. & Durigan, G. 2011. Plano de manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara. São Paulo: Instituto Florestal, p. 221.
- Melo, H. C. D.; Castro, E. M. D.; Soares, Â. M.; Melo, L. A. D. & Alves, J. D. 2007. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. *Hoehnea*, 34(2), 145-153.
- Menezes, N. L. 1971. Traqueídes de transfusão no gênero *Vellozia* Vand.. *Ciência e Cultura*, 3: 389-409.

- Moraes, M. 1996. *Allagoptera* (Palmae). *Flora Neotropica*, 73, 1-34.
- Moraes, M. & Martins, R. C. 2019. *Allagoptera* in *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15668>> (acesso em abril de 2019).
- Morais, H.; Marur, C. J.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. A. & Gomes, J. C. 2003. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 1131–1137.
- Moreira, B.; Tormo, J. & Pausas, J. G. 2012. To resprout or not to resprout: factors driving intraspecific variability in resprouting. *Oikos*, 121(10), 1577-1584.
- Müller, C. & Riederer, M. 2005. Plant surface properties in chemical ecology. *Journal of chemical ecology*, 31(11), 2621-2651.
- Nakazono, E.; Costa, M. C. D.; Futatsugi, K. & Paulilo, M. T. S. 2001. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. *Brazilian Journal of Botany*, 24(2), 173-179.
- Oliveira, A. F.; Meirelles, S. T. & Salatino, A. 2003. Epicuticular waxes from caatinga and cerrado species and their efficiency against water loss. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 75(4), 431-439.
- Oliveira, D.; Medeiros, M.; Pereira, S.; Oliveira, M.; Frosi, G.; Arruda, E. & Santos, M. 2016. Ecophysiological leaf traits of native and exotic palm tree species under semi-arid conditions. *Bragantia*, 75(2), 128-134.
- Orthen, B. 2001. Sprouting of the fructan-and starch-storing geophyte *Lachenalia minima*: Effects on carbohydrate and water content within the bulbs. *Physiologia plantarum*, 113(3), 308-314.
- Pausas, J. G.; Lamont, B. B.; Paula, S.; Appezzato-da-Glória, B. & Fidelis, A. 2018. Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, 217(4), 1435-1448.
- Pearce, D. W.; Millard, S.; Bray, D. F. & Rood, S. B. 2006. Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree physiology*, 26(2), 211-218.

- Peschiutta, M. L.; Bucci, S. J.; Goldstein, G. & Scholz, F. G. 2020. Leaf herbivory and calcium oxalate crystal production in *Prunus avium*. *Arthropod-Plant Interactions*, 14(6), 727-732.
- Pinedo, A. S.; Martins, R. C.; De Oliveira, R. C. & Gomes, S. M. 2016. Leaf anatomy in *Allagoptera* (Arecaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 182(2), 361-375.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rasband, W. S. 2006. Image J, U. S. Nacional Institute of Health, Bethesda, Maryland.
- Rezai, S.; Etemadi, N.; Nikbakht, A.; Yousefi, M. & Majidi, M. M. 2018. Effect of light intensity on leaf morphology, photosynthetic capacity, and chlorophyll content in sage (*Salvia officinalis* L.). *Horticultural Science and Technology*, 36(1), 46-57.
- Rossatto, D. R. & Kolb, R. M. 2010. *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae) changes in leaf structure due to differences in light and edaphic conditions. *Acta Botanica Brasilica*, 24(3), 605-612.
- Shepherd, T. & Wynne Griffiths, D. 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytologist*, 171(3), 469-499.
- Silva, B. H. P. & Rossatto, D. R. 2019. Are underground organs able to store water and nutrients? A study case in non-arboreal species from the Brazilian Cerrado. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31(3), 413-421.
- Silva, G. S.; Ferraro, A.; Ogando, F. I.; Aguiar, C. L. & Appezzato-da-Glória, B. 2020. Structures related to resprouting potential of two Myrtaceae species from Cerrado: morpho-anatomical and chemical studies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(1).
- Silva, L. M.; Alquini, Y. & Cavallet, V. J. 2005. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. *Acta Botanica Brasilica*, 19(1), 183-194.
- Smith, W. K.; Vogelmann, T. C.; DeLucia, E. H.; Bell, D. T. & Shepherd, K. A. 1997. Leaf form and photosynthesis. *Bioscience*, 47(11), 785-793.

- Solovchenko, A. & Merzlyak, M. 2003. Optical properties and contribution of cuticle to UV protection in plants: experiments with apple fruit. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2(8), 861-866.
- Somavilla, N. S. & Graciano-Ribeiro, D. 2011. Análise comparativa da anatomia foliar de Melastomataceae em ambiente de vereda e cerrado sensu stricto. *Acta Botanica Brasilica*, 25(4), 764-775.
- Tomlinson, P.B. 1990. The structural biology of palms. Oxford Clarendon Press, Oxford. 477 p.
- Xie, F.; Shi, Z.; Zhang, G.; Zhang, C.; Sun, X.; Yan, Y.; Zhao, W.; Guo, Z.; Zhang, L.; Fahad, S.; Saud, S. & Chen, Y. (2020). Quantitative leaf anatomy and photophysiology systems of C3 and C4 turfgrasses in response to shading. *Scientia Horticulturae*, 274, 109674.