

ASPECTOS FENOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DA FORMAÇÃO DE GALHAS FOLIARES ESTRELARES EM *Myrciaria floribunda* (MYRTACEAE) NO PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA

Data de aceite: 01/04/2024

Luan Gonçalves Castilho

Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade NUPEM/UFRJ, Macaé, RJ
<http://lattes.cnpq.br/4755285337440199>

Naiara Viana Campos

Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade NUPEM/UFRJ, Macaé, RJ
<http://lattes.cnpq.br/6170651160514007>

Sabrina Dias de Matos

Universidade Estadual do Norte-Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ
<http://lattes.cnpq.br/5990539099797373>

Tatiana Ungaretti Paleo Konno (*Em memória*)

Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade NUPEM/UFRJ, Macaé, RJ
<http://lattes.cnpq.br/8152361597030695>

Heitor Monteiro Duarte

Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade NUPEM/UFRJ, Macaé, RJ
<http://lattes.cnpq.br/3152169551717768>

Ana Cláudia de Macêdo Vieira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Farmácia. Rio de Janeiro, RJ
<http://lattes.cnpq.br/1467567199600841>

RESUMO: *Myrciaria floribunda* (H. West ex Willd.) O. Berg (MYRTACEAE) é uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, podendo atingir cerca de 2,50 m de altura em ecossistemas de restinga, com ampla distribuição geográfica. É considerada uma espécie super-hospedeira uma vez que foram identificados sete morfotipos de galhas em *M. floribunda*, sendo cinco deles localizados na folha. Dentre os morfotipos foliares destaca-se o estrelar devido a presença de inúmeras expansões foliáceas, o que torna sua morfologia diferenciada. A área de amostragem do presente estudo está localizada dentro do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (Quissamã, RJ). Para acompanhamento fenológico quinze indivíduos foram marcados e observados mensalmente. Amostras foliares com e sem galhas de outros três indivíduos foram coletadas para análises morfométricas e fisiológicas. Foi observado que a indução de novas galhas ocorre de modo concomitante com a emissão de folhas, demonstrando uma sincronia fenológica entre a espécie hospedeira e o indutor. Galhas senescentes foram abundantes no outono e no inverno, coincidindo com o período de abscisão foliar. O índice de infestação foi menor na primavera e aumentou durante a estação

chuvosa. Foram observadas galhas estrelares distribuídas em ambas as faces da lâmina foliar, podendo ser vistas até trinta galhas sobre a superfície de uma única folha. A presença de galhas favoreceu a eficiência quântica potencial em folhas expostas ao sol, porém não alterou a tolerância térmica do fotossistema II. O presente estudo evidenciou a sincronia da ação dos galhadores com a fenologia da espécie hospedeira e alterações fisiológicas protetivas nas folhas galhadas de *M. floribunda*.

PALAVRAS-CHAVE: *Myrciaria floribunda*, restinga, biologia de galhas, fenologia, interação inseto-planta.

PHENOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE FORMATION OF STAR LEAF GALLS ON MYRCIARIA FLORIBUNDA (MYRTACEAE) IN THE RESTINGA DE JURUBATIBA NATIONAL PARK

ABSTRACT: *Myrciaria floribunda* (H.West ex Willd.) O. Berg (MYRTACEAE) is a shrub or small tree that can reach around 2.50m in height in restinga ecosystems and has a wide geographic distribution. This species is considered a superhost species since seven gall morphotypes have been identified, five of which are located on the leaf. Among the leaf morphotypes, the star morphotype stands out due to the presence of numerous leaf expansions, making its morphology unique. The sampling area of the present study is located within the Restinga de Jurubatiba National Park (Quissamã, RJ). For phenological monitoring, fifteen individuals were marked and observed monthly. Leaf samples with and without galls from three other individuals were collected for morphometric and physiological analyses. It was observed that the induction of new galls occurs concomitantly with the emission of leaves, demonstrating phenological synchrony between the host species and the inducer. Senescent galls were abundant in autumn and winter, coinciding with the leaf abscission period. The infestation rate was lowest in spring and increased during the rainy season. Star galls were observed distributed on both sides of the leaf blade, with up to thirty galls visible on the surface of a single leaf. The presence of galls favored the potential quantum efficiency in leaves exposed to the sun but did not change the thermal tolerance of photosystem II. The present study highlighted the synchrony of the action of gallers with the phenology of the host species and protective physiological changes in the galled leaves of *M. floribunda*.

KEYWORDS: *Myrciaria floribunda*, restinga, gall biology, phenology, insect-plant

INTRODUÇÃO

A formação de galhas pode ocorrer em todos os órgãos de uma planta e, de acordo com Oliveira & Maia (2005), o órgão mais comumente afetado é a folha. Isso se deve tanto pelo fato desse órgão ser um recurso mais abundante, como também renovável (FELT, 1940). A formação de galhas é consequência da ação alimentar, mecânica e fisiológica do indutor (HORI, 1992), e envolve processos de hipertrofia (aumento no tamanho das células), hiperplasia (aumento no número de células) e desdiferenciação celular, dando origem a tecidos especializados (MANI, 1964; ISAIAS, 1998). Ou seja, os indutores podem ser definidos como os agentes responsáveis pelas modificações dos padrões de desenvolvimento dos tecidos da planta hospedeira, alterando também a natureza química e fisiológica das regiões afetadas.

Além das estratégias químicas de defesa, nas relações envolvendo insetos galhadores uma outra estratégia observada está relacionada com os eventos fenológicos, uma vez que muitas espécies de plantas florescem em períodos em que há menos inimigos naturais (DEL-CLARO & TOREZAN-SILINGARDI, 2012). Entretanto, para que ocorra um bom desenvolvimento da espécie indutora, é necessário também que haja uma sincronia entre as fenofases da planta e o ciclo de vida do galhador (YUKAWA, 2000) principalmente entre a fenofase do órgão afetado e a indução da galha. De acordo com Floate *et al.*, (1996) os insetos galhadores são sensíveis a pequenas variações fenológicas nas plantas hospedeiras, sendo capazes de perceber particularidades entre hospedeiras co-ocorrentes na mesma região.

Um exemplo de grupo botânico associado a uma diversa gama de indutores é a família Myrtaceae. Segundo Maia (2013), nas restingas da região sudeste do país, esta família é detentora de 97 morfotipos de galhas, ocorrendo em nove gêneros e 26 espécies. Dentre as espécies de Myrtaceae em restingas, destaca-se *Myrciaria floribunda* H. West ex Willd. O. Berg, uma planta de porte arbustivo ou arbóreo com até 2,5 metros de altura, com folhas elípticas ou lanceoladas, ápice longo-acuminado, base cuneada ou decurrente, cartáceas, discoloras, e densamente pontuadas. *Myrciaria floribunda* apresenta uma elevada riqueza de galhas, sendo considerada uma espécie super-hospedeira (MAIA, 2013), e os cecidomiídeos são o principal táxon galhador (MAIA, 2001; MAIA *et al.*, 2008). Dentre os sete morfotipos de galhas já identificados para *M. floribunda*, cinco deles ocorrem na folha (MAIA, 2013). Entre eles, o morfotipo caracterizado como estrelar destaca-se devido à presença de inúmeras expansões foliáceas, o que torna a sua morfologia diferenciada. De acordo com Bregonci *et al.* (2010), há uma guilda associada a esta galha que compreende, além do cecidomiídeo indutor, outras três espécies de artrópodes (Thysanoptera, *Prodecatoma* sp.1 e Formicidae sp.3).

Este trabalho teve como objetivos o estudo da frequência de galhas estrelares em indivíduos de *M. floribunda* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba na região de Quissamã, RJ e a comparação da eficiência fotossintética e da termotolerância de folhas galhadas e folhas não afetadas por esse morfotipo de galha.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada dentro do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PNRJ), no município de Quissamã, na região norte do estado do Rio de Janeiro, nas coordenadas 22° 11' 56" S e 41° 28' 5" O.

ACOMPANHAMENTO FENOLÓGICO E ÍNDICE DE INFESTAÇÃO POR GALHAS ESTRELARES

Foram selecionados 15 indivíduos adultos de *M. floribunda*, caracterizados por atividades reprodutivas e altura maior que 1.0 m (1.1 m – 2.5 m). Os indivíduos apresentavam cerca de 1.0 m de distância entre si e foram identificados através da colocação de placas metálicas. Excursões mensais foram realizadas no período de janeiro a dezembro de 2019 para observação de eventos de emissão de folhas, de flores e frutos, de senescência foliar e ocorrência de galhas. Espécimes testemunhos foram depositados no Herbário da Universidade Federal do Rio de Janeiro (RFA), sob o No. 41429.

Para avaliar o nível de infestação (NI) por galhas foram marcados dois ramos aleatórios, com cerca de 50 cm de comprimento, em cada indivíduo. Foram contabilizados mensalmente o número de folhas galhadas e não galhadas nos ramos. O NI foi calculado a partir da fórmula: $(n^\circ \text{ folhas galhadas} / n^\circ \text{ total de folhas}) \times 100$ (FORMIGA *et al.*, 2010). Além disso, foi avaliado o número total de galhas por ramo.

Os dados analisados foram apresentados considerando o período das estações do ano. Dados meteorológicos da Estação São Tomé, município de Campos de Goytacazes, foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para caracterização das estações. A estação meteorológica dista 97 Km da área de estudo. Foram consideradas as estações do ano para o Hemisfério Sul, com o outono entre março e maio, inverno entre junho e agosto, primavera entre setembro e novembro, e verão entre dezembro e fevereiro.

ANÁLISES MORFOMÉTRICAS DE FOLHAS GALHADAS E NÃO GALHADAS

Três indivíduos adultos de *M. floribunda*, caracterizados por atividades reprodutivas e não marcados para o acompanhamento da ocorrência de galhas, foram selecionados para a coleta de amostras para análises morfométricas e de distribuição das galhas na superfície foliar. Para tanto foram coletadas aleatoriamente dez folhas galhadas (FG) e dez folhas não galhadas (FNG) de cada indivíduo.

As FG e FNG foram mensuradas quanto ao comprimento e largura foliar, com auxílio de régua milimétrica, e foi contabilizado o número de galhas nas face abaxial e adaxial de cada FG. As áreas das superfícies adaxial e abaxial de todas as folhas foram registradas com auxílio de um scanner e calculadas utilizando o software ImageJ (RASBAND, 2024). A densidade média de galhas foi calculada através da razão do número de galhas pela área foliar (cm²).

ANÁLISE DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E DA TOLERÂNCIA TÉRMICA DO FSII

Para essas análises foram escolhidas folhas completamente expandidas e sem sinais de herbivoria dos mesmos indivíduos utilizados nas análises micromorfométricas (N=3). A eficiência fotossintética foi avaliada em FG e FNG utilizando-se um fluorômetro de modulação de amplitude de pulso portátil, o MINI-PAM (H. Walz, Effeltrich, Germany). Foram avaliadas duas condições de exposição à luz: lado norte (folhas expostas) e lado sul (folhas sombreadas) do arbusto. Os valores da eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m) foram obtidos em campo, após aclimação das amostras com utilização de clips foliares próprios para obscurecimento por um período de 30 minutos (Fig. 1). F_v é a fluorescência máxima variável calculada como a diferença entre a fluorescência máxima da clorofila a após pulso de luz saturante na amostra aclimatada ao escuro (F_m) e a fluorescência basal da amostra (F_o). As medições das FG foram comparadas com as medições das FNG coexistentes em um mesmo indivíduo.



Figura 1. Análise da eficiência fotossintética em folhas galhadas e não galhadas de *M. floribunda*. A. Folhas selecionadas para análise. B. Detalhe da aplicação dos clips para aclimação das amostras ao escuro.

Para análise por imagens da eficiência quântica do FSII (Φ_{FSII}) e determinação da tolerância térmica do FSII, foram coletados 5 ramos de FG e FNG de cada indivíduo contendo folhas adultas e expandidas. Os ramos foram mantidos umedecidos em água filtrada e levados para o Laboratório de Botânica do NUPEM/UFRJ onde folhas foram retiradas para ambas as análises.

As imagens da eficiência quântica do FSII (Φ_{FSII}) foram obtidas através de um sistema desenvolvido pelos autores no NUPEM/UFRJ que usa um método de detecção diferencial similar ao utilizado em Duarte e Lüttge (2005, 2007) e descrito em detalhe em Suddati *et al* 2016. Imagens da fluorescência da clorofila *a* foram gravadas e processadas em um computador PC pelo software desenvolvido em linguagem C++. Φ_{FSII} foi determinado pelo método de saturação de pulso de luz (GENTY *et al.*, 1989; SCHREIBER *et al.*, 1994). Inicialmente uma imagem da fluorescência estável (*iF*) sob luz constante (PAR = 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $\lambda = 470 \text{ nm}$) foi obtida e seguida por uma imagem sob pulso de luz saturante (*iFm*, PAR $\sim 3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 800ms de duração). *iF* e *iFm* foram corrigidas por um padrão de fluorescência interno em cada imagem (Walz, Germany). Φ_{FSII} foi determinado como $(iF - iFm) / iFm$. O processamento posterior das imagens e uso de escala de cores foi realizado com Software ImageJ (RASBAND, 2024).

Para a determinação da tolerância térmica do FSII, dez folhas galadas e não galgadas foram aclimatadas ao escuro por 12 horas em placas de petri com filtro de papel umedecidos, a fim de se reduzir os efeitos fotoinibitórios de campo. Discos com cerca de 1 cm de diâmetro foram retirados das FG e FNG com auxílio de um furador de rolha. Os discos foram colocados entre duas placas de aço inoxidável de 0.5 mm, sendo uma delas com perfurações de aproximadamente 0,9 mm de diâmetro por onde ficaram expostas as faces adaxiais das folhas para o acesso da fibra ótica do Mini-PAM. Entre as placas metálicas foi adicionado um papel filtro umedecido para evitar a dessecação das amostras. As placas contendo as amostras foram colocadas em um saco de polietileno tipo *zip-lock* e após foram submersas banho-maria termostático com circulador (modelo Techne® RB-5A), (NEUNER & PRAMSOHLER, 2006). No escuro, as amostras foram submetidas ao aumento de temperatura em intervalos de dois graus, e mantidas por dois minutos após a estabilização da temperatura em cada etapa, quando então foram feitas as leituras de *Fv/Fm*. O experimento foi encerrado quando os valores de *Fv/Fm* chegaram a zero. Os valores de decaimento de *Fv/Fm* em função da temperatura foram analisados por regressão, onde o modelo logístico permitiu extrair os seguintes pontos críticos: *Tmin* - Temperatura mínima e limiar de sensibilidade térmica, acima da qual começa a desativação dos FSII na amostra; *IT₅₀* – temperatura onde *Fv/Fm* alcançou metade do seu valor inicial; *Tmax* – temperatura onde se observou a máxima ou total desativação do FSII. Detalhes das equações utilizadas estão descritos em Borgo (2022).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A comparação do número de galhas, número de folhas, e do índice de infestação foi realizada através do uso de um modelo linear misto que considerou os indivíduos como um fator aleatório. A normalidade dos dados foi observada a partir dos valores dos resíduos. As médias foram comparadas par a par através do teste *post-hoc* de médias (HSD-Tukey). Os parâmetros da análise da tolerância térmica do FSII e da eficiência fotossintética foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida por teste *post-hoc* de médias (HSD-Tukey). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Excel® e da linguagem de programação estatística R 2.115.2 (R CORE TEAM, 2012).

RESULTADOS

Acompanhamento fenológico e nível de infestação por galhas

Durante o período de estudo a precipitação mensal variou de 10 a 120 mm, com chuvas concentradas no final da primavera, verão e no outono (Fig. 2). Os meses com menor pluviosidade foram janeiro, junho e julho. A pluviosidade anual acumulada foi de 752 mm. A temperatura máxima variou de 22.0°C a 27.6°C, com os maiores valores observados entre janeiro e março de 2019.

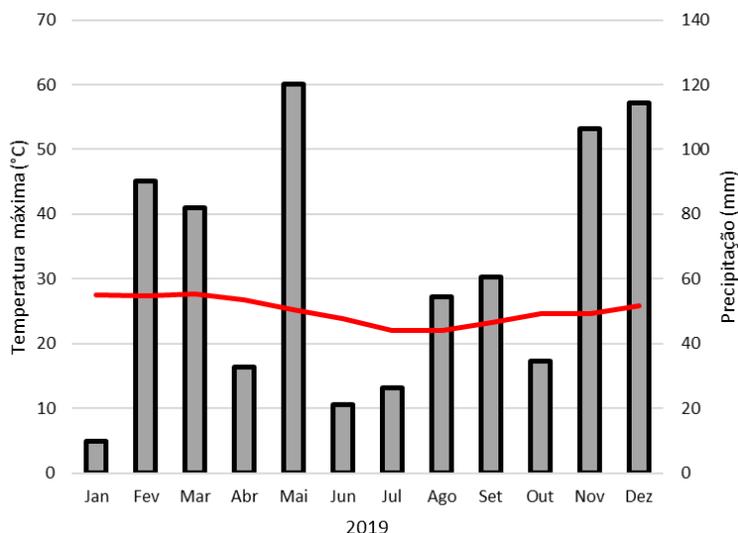


Figura 2. Temperatura máxima anual (linha) e precipitação acumulada mensal (barras) registradas para Campos de Goytacazes de janeiro a dezembro de 2019 (dados do INMET, Rio de Janeiro, Brasil). Os indivíduos de *M. floribunda* apresentaram fenofases bem distintas durante o período de acompanhamento (Fig. 3). Folhas completamente expandidas foram observadas praticamente o ano todo, com poucos indivíduos apresentando semicaducifolia. Durante a primavera e o verão foram observados botões florais e flores nos indivíduos de *M. floribunda* de modo concomitante a emissão de folhas novas (Fig. 3B-C). O período de frutificação observado nesta população foi de agosto a novembro, coincidindo com o período de abscisão foliar. No mês de agosto, cerca de 30% dos indivíduos estavam frutificando e até o final do inverno todos os indivíduos apresentaram frutos maduros. O fruto é carnoso e possui um aroma cítrico (Fig. 3D).

Galhas maduras, abortadas, e em estágio inicial de indução foram observadas ao longo do ano nos diferentes indivíduos. O desenvolvimento da galha estrelar ocorre em paralelo às fenofases da espécie hospedeira (Fig. 3E-G). A fase de indução ocorre concomitantemente ao período de expansão foliar (Fig. 3E). As galhas maduras e senescentes ocorrem ao final do período vegetativo, ficando associadas as folhas maduras e/ou àquelas em processo de abscisão foliar (Fig. 3F-G). Entre os meses de abril a julho, que compreendem o outono e o inverno, observou-se muitas galhas senescentes (Fig. 3G).

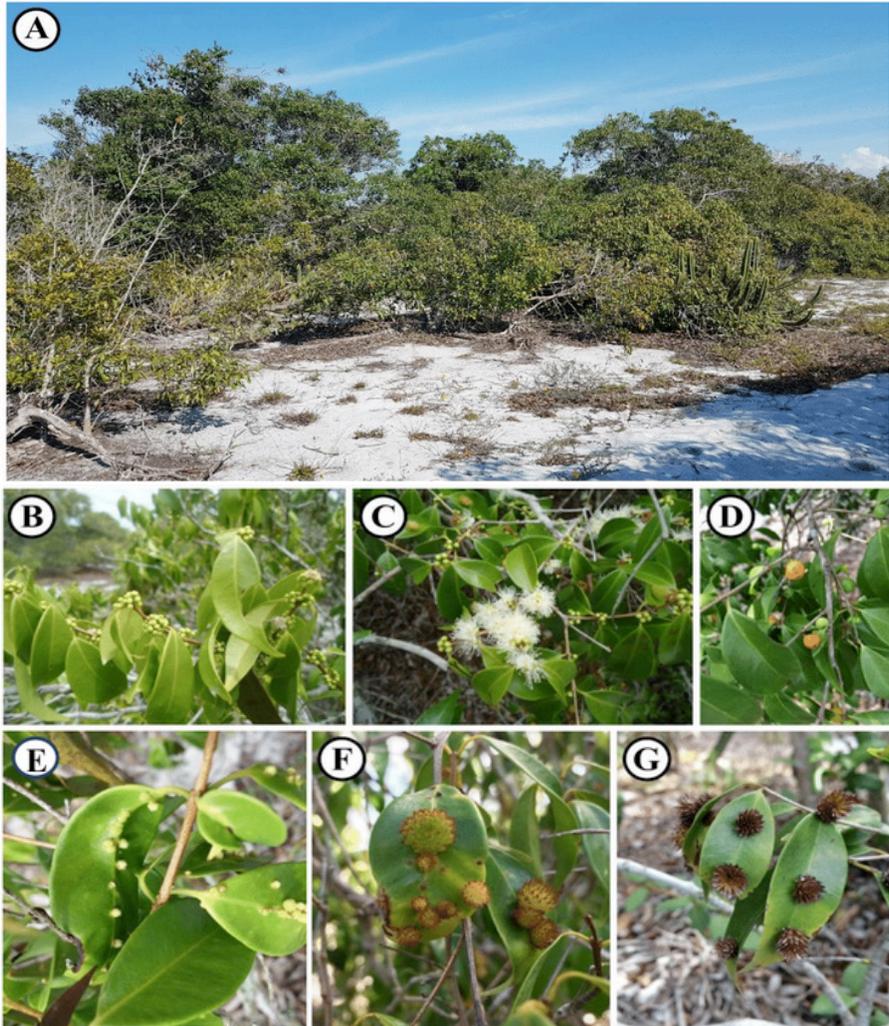


Figura 3. Fenologia da planta e da galha foliar estrelar observada na população de *M. floribunda* (H. West ex Willd) ocorrente no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A. Aspecto geral da vegetação na área de estudo. B. Botões florais. C. Flores. D. Frutos. E. Galhas estrelares em início de indução. F. Galhas estrelares em estágio maduro. G. Galhas estrelares senescentes.

As galhas jovens apresentam uma coloração verde similar ao órgão hospedeiro (Fig. 3E). No estágio maduro a coloração é amarelo-avermelhada e, à medida que a galha se desenvolve, o ápice das expansões foliáceas fica marrom-avermelhado (Fig. 3F). A galha senescente se torna enegrecida e apresenta aspecto dessecado e pode haver a perda das expansões foliáceas mais internas. O diâmetro da galha aumenta conforme o seu desenvolvimento (Fig. 3 E-G).

O número médio de folhas variou de 156 a 218 e foi significativamente menor no inverno em comparação com o verão (Fig. 4A). O número médio de galhas variou de 1.9-6.7, sendo 37 o número máximo de galhas por ramo (Fig. 4B-C). O número médio de folhas galhadas e o número médio de galhas por ramo foi menor durante a primavera em comparação com as demais estações, as quais não diferiram entre si. O índice de infestação médio variou de 1.2% a 2.8%, tendo alcançado o valor máximo de 17% em um dos indivíduos (Fig. 4D). O índice de infestação foi menor durante a primavera. Não foi observada uma correlação positiva entre o número médio de folhas e o número médio de folhas galhadas ($R_2 < 0.1$).

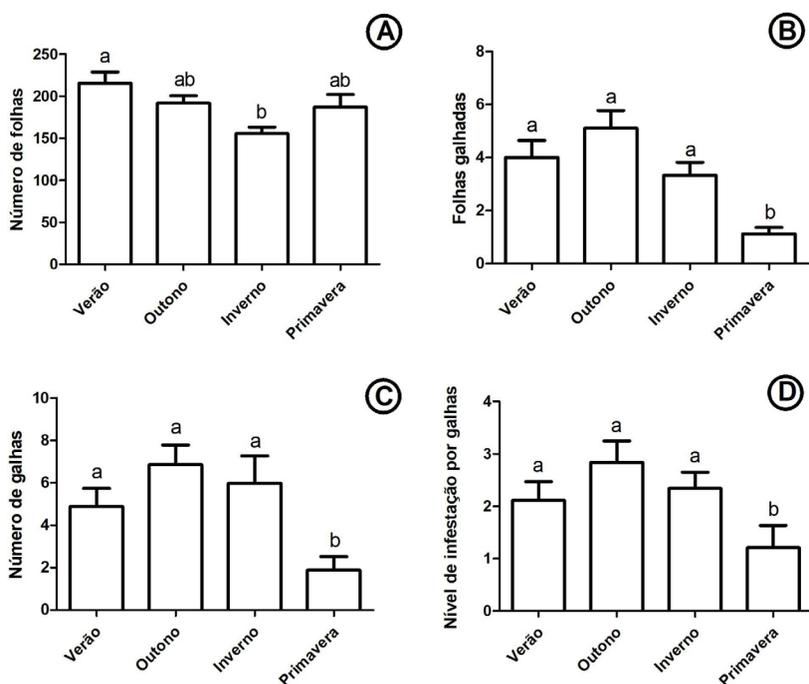


Fig 4. Ocorrência de galhas ao longo de um ano em indivíduos (n=15) de *M. floribunda* (H. West ex Willd) ocorrente no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A. Número médio de folhas por ramo. B. Número de folhas galhadas por ramo. C. Número médio de galhas por ramo. D. Índice de infestação por galhas. Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0.05$, teste Tukey) entre as estações.

Análises morfométricas de folhas galhadas e não galhadas

O comprimento e a largura foliar média de FG foi 6.8 cm e 2.3 cm, respectivamente, enquanto para as FNG foi de 6.5 cm e 2.3 cm (Fig. 5A-B). A área foliar de FG e FNG foi de 10.9 cm e 9.7 cm, respectivamente (Fig. 5C). Entretanto, FG e FNG não diferiram significativamente quanto aos parâmetros de largura, comprimento e área foliar. O número médio de galhas foi maior para a face adaxial do que para a face abaxial (Fig. 5D).

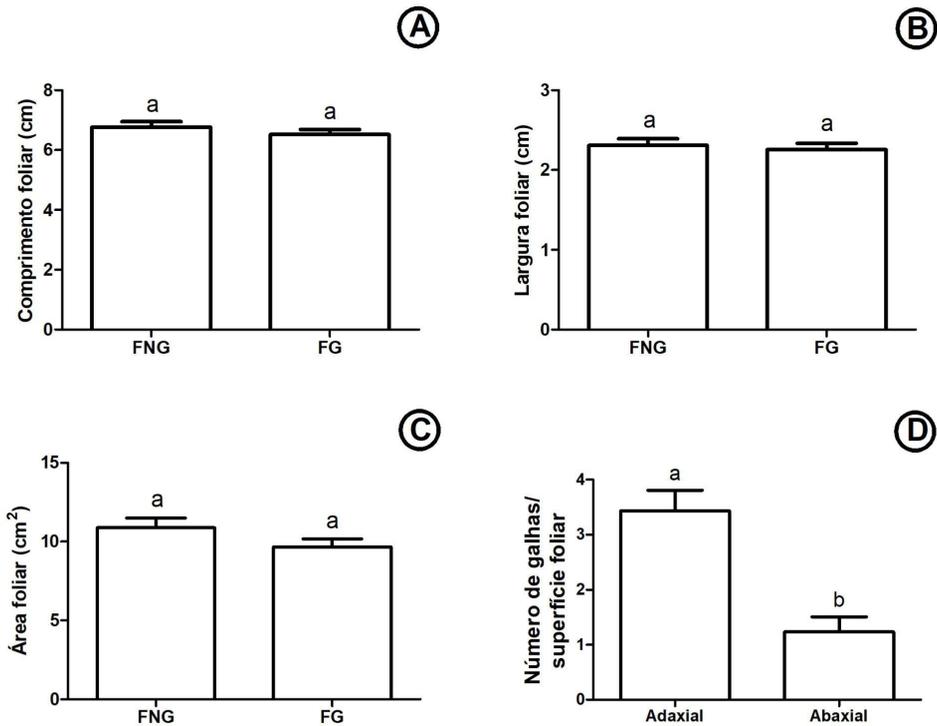


Fig 5. Morfometria de folhas galhadas (FG) e não galhadas (FNG) de indivíduos ($n=15$) de *M. floribunda* (H. West ex Willd) ocorrente no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. A. Comprimento foliar médio. B. Largura foliar média. C. Área foliar média. D. Número médio de galhas nas superfícies adaxial e abaxial das folhas galhadas. Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p<0.05$, teste Tukey) entre as médias.

Análise da Fluorescência da Clorofila *a*: *Fv/Fm*, *Imagens e Tolerância térmica do FSII*

Valores de *Fv/Fm* obtidos por aclimação de 30 minutos foram abaixo do valor ótimo de 0.84 indicando leve fotoinibição nos indivíduos de *M. floribunda* mensurados, independente do grau de exposição a luz. Porém, FNG apresentaram menores valores de *Fv/Fm* do que FG unicamente na condição de exposição completa à luz solar, não ocorrendo em ambiente sombreado. (Tab. 1).

Presença de galhas	F_v/F_m Grau de exposição		
	Expostas	Sombreadas	
FG	0,74 ± 0,03 ^{aA}	0,75 ± 0,05 ^{aA}	
FNG	0,65 ± 0,06 ^{bB}	0,75 ± 0,03 ^{aA}	
Efeitos ANOVA	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Presença de galhas	1	4,472	0,0487
Exposição	1	9,536	0,0063
Interação	1	6,244	0,0223

Tabela 5. Efeito do grau de exposição à luz e da presença de galhas na eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m) em folhas de *M. floribunda*. Letras maiúsculas representam diferenças significativas entre folhas galhadas (FG) e não galhadas (FNG), enquanto letras minúsculas entre folhas expostas e sombreadas (Tukey - HSD). Efeitos ANOVA significativos estão em negrito. *g.l.* = graus de liberdade, *F* = valor da análise de variância e *p* = valor de significância ($p < 0,05$),

A presença de heterogeneidade espacial fotossintética foi evidente em folhas de *M. floribunda* tanto em FG como em FNG como revelado por imagens de Φ_{PSII} (Fig. 6). Porém, o tecido foliáceo das galhas apresentou eficiência quântica claramente menor que os tecidos adjacentes normais. Curiosamente, a presença de um halo de maior Φ_{PSII} ao redor das galhas ficou evidente nas imagens (Fig. 6c, d), mesmo quando a porção foliar onde a galha se insere apresentou menor Φ_{PSII} em relação a outras porções da mesma folha (Fig. 6 d, *).

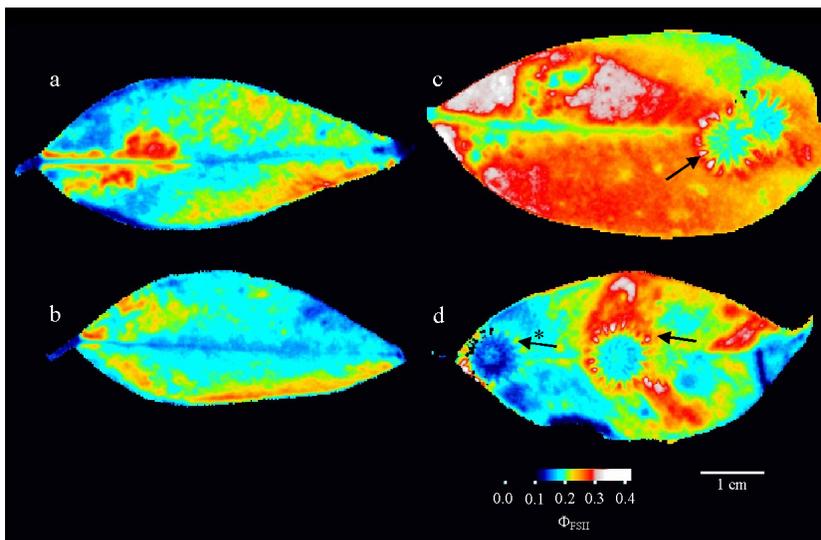


Figura 6. Imagens de Φ_{PSII} em folhas não galhadas (a, b) e galhadas (c, d) de *M. floribunda*. Escala de cores foi usada para contrastar as diferenças espaciais de valores de Φ_{PSII} 0.1 e 0.35. Setas indicam tecido adjacente às galhas apresentando maiores valores de Φ_{PSII} . * indica a região onde o patamar de Φ_{PSII} é mais baixo, mas ainda assim o halo em torno da galha é mais alto.

O ensaio de tolerância térmica do FSII evidenciou que a presença de galhas não alterou significativamente os pontos críticos obtidos pela análise de *Fv/Fm* em função do gradiente de temperatura. Em média, atividade do FSII em folhas de *M. floribunda* começou cair a partir dos 46,5 °C (*Tmin*), chegou a 50% aos 49.6 °C (*IT₅₀*) e foi totalmente inibida aos 52.7 °C (*Tmax*) (Tab. 6).

	<i>Tmin</i> (°C)	<i>IT₅₀</i> (°C)	<i>Tmax</i> (°C)
FG	46,9 ± 0,8	50,1 ± 0,5	53,2 ± 0,9
FNG	46,2 ± 1,8	49,2 ± 1,3	52,2 ± 1,3
Média	46.5	49.6	52.7

Tabela 6. Caracterização da tolerância térmica do FSII através de pontos críticos da obtidos em regressões de *Fv/Fm* em função da temperatura em folhas galhadas (FG) e folhas não galhadas (FNG) de *M. floribunda*. Diferenças significativas não foram observadas (teste-*t* de Student).

DISCUSSÃO

A população estudada de *Myrciaria floribunda* ocorre numa área de restinga do PARNA Jurubatiba pouco afetada pela ação antrópica, sem edificações próximas ou estradas asfaltadas para fluxo contínuo de veículos. Os indivíduos observados ocorrem isolados ou em fímbrias de formações de moitas. Durante as observações de campo, além do morfotipo estrelar, foram encontrados outros dois morfotipos de galhas, e insetos minadores nas folhas de *M. floribunda*. Essa observação reforça a ideia de que *esta* é uma espécie super-hospedeira, como proposto por MAIA (2013).

O morfotipo estrelar é caracterizado pela presença de inúmeras expansões foliáceas, as quais fornecem proteção ao agente indutor. De acordo com Silva e Silva 2014, o revestimento externo da galha por expansões foliáceas (“emergências”), além de oferecer proteção mecânica contra o ataque de predadores pode favorecer a manutenção da temperatura e umidade em seu interior, fatores fundamentais para o estabelecimento e desenvolvimento do galhador. A coloração da galha estelar varia de acordo com o seu desenvolvimento, sendo inicialmente verde e com o tempo adquire cor amarela avermelhada, sendo coincidente com os padrões fenológicos da folha. Padrões similares foram descritos por Bregonci *et al.*, 2010 e Silva & Silva 2014.

Todos os indivíduos de *M. floribunda* que apresentavam a fenofase de brotação, também apresentavam indução de galhas, demonstrando a sincronia entre os dois eventos. De acordo com Rohfritsch & Anthony (1992) e Gonçalves *et al.* (2005) na grande maioria das interações envolvendo organismos galhadores e plantas hospedeiras o período de emissão de folhas novas coincide com a época preferencial de indução das galhas. Se para a espécie hospedeira a sincronização fenológica com o indutor pode proporcionar danos ao seu desenvolvimento, essa sincronia fenológica é de extrema importância para o estabelecimento e desenvolvimento da espécie indutora, uma vez que o galhador irá se

beneficiar da disponibilidade de tecidos jovens e mais ativos, o que poderá lhe conferir um maior sucesso reprodutivo e baixas taxas de mortalidade (REHILL & SCHULTZ, 2002). Esses tecidos novos, além de possuírem uma alta qualidade e quantidade de recursos nutritivos (YUKAWA, 2000) apresentam uma boa capacidade de atuar como drenos fisiológicos (TAIZ & ZEIGER, 2004), conferindo à galha a capacidade de atuar como um dreno adicional de fotoassimilados.

Outro fato observado foram os baixos níveis de infestação, que de acordo com Pilson (2000), poderia estar relacionado às variações temporais na fenologia da espécie hospedeira. Embora tenha sido observada sincronia fenológica entre a indução das galhas e a emissão de folhas novas nos indivíduos, a brotação apresentou-se assíncrona na população estudada. Os indivíduos que apresentavam emissão de folhas novas em seguida apresentavam galhas em início de desenvolvimento. Aqueles indivíduos que ainda não emitiam folhas novas não apresentavam a formação de galhas ou apresentavam galhas senescentes. A média máxima encontrada para os níveis de infestação em *M. floribunda* foi de 2,8% no outono, sendo este valor considerado muito baixo. Em um trabalho realizado por Barbosa *et al.* (2004) em uma área de plantio da espécie *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh foi observado níveis de infestação de galhas de 94% durante o período de janeiro e fevereiro em ramos de indivíduos adultos. Estes mesmos autores mencionam que a população de *M. dubia* era homogênea quanto ao tamanho e número de ramos, padrão que não foi observado nos indivíduos do presente estudo. Durante as excursões a campo, foi observada a presença de um indivíduo bem desenvolvido (2,50 m de altura) com folhas galhadas de forma massiva, enquanto outros indivíduos apresentavam poucos ramos afetados por galhas.

Durante o período que corresponde a primavera e o verão, foram observados botões florais na espécie em estudo, entretanto, somente em uma excursão a campo foi observada a presença de flores em antese. Essa observação foi feita no mês de março, que coincide com o final do verão e presença de chuvas marcantes. De acordo com Lughadha & Proença (1996) a grande maioria das espécies de Myrtaceae florescem na transição entre as estações seca e úmida. O padrão de floração de *Myrciaria floribunda* é considerado por Gentry (1974) como do tipo “big bang”, pois os eventos de floração são episódicos e massivos, durando apenas poucos dias.

As galhas estrelares de *M. floribunda* são encontradas em todas as regiões da lâmina foliar e em ambas as faces da folha. Sobre a superfície de uma mesma folha podem ser desenvolvidas inúmeras galhas. Embora o sítio preferencial para a indução de galhas seja sobre a nervura mediana, estas não se restringem somente a esse local, podendo ser observadas na região intercostal e na região de bordo foliar. No trabalho realizado por Silva & Silva (2014) foram observadas galhas estrelares somente na face adaxial e sempre sobre a nervura mediana.

As galhas podem influenciar não apenas a produção de compostos primários e secundários, mas o perfil fisiológico da planta hospedeira como um todo (DORCHIN *et al.*, 2006). De acordo com Oliveira *et al.*, (2006) o redirecionamento de fotoassimilados para a região da câmara larval está relacionado com a estratégia de nutrição do indutor e do desenvolvimento da galha de forma a garantir o suprimento de fotoassimilados para os tecidos primordiais para a alimentação e desenvolvimento da espécie indutora. Curiosamente, a despeito da leve fotoinibição observada em todas as amostras em campo, nossos resultados mostram que os tecidos fotossintéticos normais de folhas com galhas se mostraram menos sujeitos a fotoinibição quando em maior exposição à luz (maiores valores de F_v/F_m) do que em folhas sem galhas. Além disso, foi possível identificar um halo de maior eficiência quântica efetiva do FSII ao redor das galhas. Esses resultados sugerem que além de maior fotoproteção, o tecido ao redor da galha também apresenta maior capacidade de conversão da luz em trabalho fotoquímico, sugerindo maior produção de assimilados nesses locais. Lüttge *et al.* (2007), reportou que folhas galhadas de *Clusia aemygdioi*, observadas também com um sistema de imagens da fluorescência da clorofila, apresentaram eficiência quântica do FSII maior no anel de tecido ao redor da galha do que no tecido foliar adjacente ou nos tecidos da galha em si.

Trabalhos realizados por Aldea *et al.* (2006) e Araújo (2009) mostraram uma baixa atividade fotossintética em tecidos diretamente afetados por galhas quando comparados aos tecidos não afetados. Similarmente, nesse trabalho observamos que embora os tecidos foliáceos das galhas apresentem capacidade fotoquímica esta foi sempre menor que os tecidos adjacentes. A menor eficiência fotossintética observada para as galhas estrelares pode ser justificada pela ausência de estômatos nas expansões foliáceas (dados não apresentados), o que torna as trocas gasosas menos eficientes.

Por outro lado, levando-se em consideração o conjunto e a área ocupada pelas expansões foliares da galha, as quais apresentam tecidos clorofilados, sugere que a alta densidade delas pode promover um aumento compensatório na eficiência fotossintética observado através dos valores de F_v/F_m . Embora a galha estrelar de *M. floribunda* seja fotossinteticamente ativa, ela depende de água e sais provenientes de fontes próximas do local de seu desenvolvimento, sugerindo então que ela possa atuar como fonte e dreno de seus próprios recursos.

O fato de que a tolerância térmica do FSII tenha se mantido constante entre as folhas sugere que o efeito da galha no sistema fotossintético dos tecidos adjacentes não atinge a estrutura deste supercomplexo proteico. Nesse contexto a fotoproteção observada em alta exposição a luz pode advir pela da manutenção da cadeia transportadora de elétrons, provavelmente mais ativa pela demanda metabólica dos tecidos da galha, ou através de processos regulatórios no FSII, como a dissipação não fotoquímica da radiação luminosa absorvida pelos fotossistemas que envolve a o ciclo das xantofilas (ADAMS *et al.*, 2014).

Embora o resultado da análise de termotolerância não tenha revelado diferenças significativas entre folhas galhadas e não galhadas, eles são inéditos e mostram o padrão de termotolerância para a espécie *M. floribunda* ocorrente no PARNA Jurubatiba.

Apoio: Este trabalho foi financiado pela FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- ALDEA, M.; HAMILTON, J.; RESTI, J.; ZANGERL, A.R.; BERENBAUM, M.R.; FRANK, T.D.; DELUCIA, E.H. 2006. Comparison of photosynthetic damage from arthropod herbivory and pathogen infection in understory hardwood saplings. *Oecologia* 149:221-232.
- ARAUJO, G.F.C. 2009. Reações estruturais, histoquímicas e fotossintéticas de *Guapira opposita* (Vell.) Reitz (Nyctaginaceae) à Cecidomyiidae galhadores. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.
- BARBOSA, M.L.L.; ACIOLI, A.N.S.; OLIVEIRA, A.N.; SILVA, N.M. CANTO, S.L.O. 2004. Ocorrência de *Tuthillia cognata* Hodkinson, Brown & Burckhardt, 1986 (Hemiptera: Homoptera, Psyllidae) em plantios experimentais de camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh em Manaus (Amazonas, Brasil). *Acta Amazônica*. v. 34, n. 1, p. 115-119.
- BORGIO, M.L. 2022. Tolerância Térmica da Fotossíntese em Macroalgas da Região Norte Fluminense. Dissertação (Mestrado em CIÊNCIAS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- BREGONCI, J. M.; POLYCARPO, P. V.; MAIA, V. C. 2010. Insect galls of the Parque Estadual Paulo César Vinha (Guarapari, ES, Brazil). *Biota Neotropica*, v. 10, n. 1, p. 265-274.
- DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H.M. 2012. Ecologia das interações plantas-animais: Uma abordagem ecológico-evolutiva. Technical Books Editora.
- DEMIG-ADAMS, B.; GARAB, G.; ADAMS, W.; GOFINDJEE (eds.) 2014. Non-Photochemical Quenching and Energy Dissipation in Plants, Algae and Cyanobacteria. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, 40. Springer Science+Business Media Dordrecht.
- DORCHIN, N.; CRAMER, M.D.; HOFFMANN, J.H. 2006. Photosynthesis and sink activity of wasp-induced Sgalls in *Acacia pycnantha*. (Author abstract). *Ecology*. v. 87, n. 7, p.1781(11). enfoque químico-biológico. *Ed. UFRJ*, Rio de Janeiro. 268p.
- DUARTE, H.M., JAKOVLJEVIC, I., KAISER, F., LÜTTGE, U., 2005. Lateral diffusion of CO₂ in leaves of the crassulacean acid metabolism plant *Kalanchoë daigremontiana* Hamet et Perrier. *Planta* 220: 809-816.
- DUARTE, H.M., LÜTTGE, U., 2007. Correlation between photorespiration, CO₂-assimilation and spatiotemporal dynamics of photosynthesis in leaves of the C₃-photosynthesis/crassulacean acid metabolism-intermediate species *Clusia minor* L. (Clusiaceae). *Trees* 21, 531-540.
- FELT, E.P, 1940. Plant galls and gall makers. Ithaca, 364p.
- FLOATE, K.D, FERNANDES G.W; NILSON J. 1996. Distinguishing intrapopulacional categories of plants by their insect faunas: galls on rabbitbrush. *Oecologia* 105:221-229.

FORMIGA, A.T.; GONÇALVES, S.J.M.R.; SOARES, G.L.G.; ISAIAS, R.S.S. 2009. Relações entre o teor de fenóis totais e o ciclo das galhas de Cecidomyiidae em *Aspidosperma spruceanum* Mull Arg. (Apocynaceae). *Acta Botanica Brasilica*, 23: 93-99

GENTRY, A.H. 1974. Flowering phenology and diversity intropical Bignoniaceae. *Biotropica* 6(1): 64-68.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; BAKER, N.R.; 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta* 990, 87-92.

GONÇALVES, S.J. M.R; ISAIAS, R.M.S; VALE, F.H.A; FERNANDES, G.W. 2005. Sexual dimorphism of *Pseudotectococcus rolliniae* Hodgson & Gonçalves 2004 (Hemiptera Coccoidea Eriococcidae) influences gall morphology on *Rollinia laurifolia* Schltl.(Annonaceae). *Tropical Zoology*, v. 18, n. 2, p. 161-169.

HARTLEY, S.E. 1998. The chemical composition of plant galls: are levels of nutrients and secondary compounds controlled by the gall-former? *Oecologia* 113:492-50.

HORI, K. 1992. Insect secretions and their effect on plant growth, with special reference to hemipterans. In: Shorthouse, J.D. e Rohfritsch, O. (Eds.). *Biology of insect-induced galls*. Oxford University Press, New York, pp. 157-170.

ISAIAS, R.M.S. 1998. Galhas entomógenas em *Machaerium* (Leguminosae Papilionideae): Anatomia e Histoquímica. 220f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUGHADHA, E.N; PROENÇA, C. 1996. A survey of the reproductive biology of the Myrtoideae (Myrtaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83: 480-503.

LÜTTGE, U. (Ed.) 2007. *Clusia*. A Woody Neotropical Genus of Remarkable Plasticity and Diversity. *Ecological Studies*, Vol. 194. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

MAIA, V.C., 2001. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) from three restingas of Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18: 583:629.

MAIA, V.C. 2013. Galhas de insetos em restingas da região sudeste do Brasil com novos registros. *Biota Neotropica*, v. 13, n. 1.

MAIA, V.C.; MAGENTA, M.A.; MARTINS, S.E. 2008. Ocorrência e caracterização de galhas de insetos em áreas de restinga de Bertioga (São Paulo, Brasil). *Biota Neotrop.* 8: 167-197.

MANI, M.S. 1964. *Ecology of plant galls*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague.

NEUNER, G.; PRAMSOHLER, M. 2006. Freezing and high temperature thresholds of photosystem 2 compared to ice nucleation, frost and heat damage in evergreen subalpine plants. *Physiologia Plantarum*, v. 126, n. 2, p. 196-204.

OLIVEIRA, D.C.; CHRISTIANO, J.C.S.; SOARES, G.L.S.; ISAIAS, R.M.S. 2006. Reações de defesas químicas e estruturais de *Lonchocarpus muehlbergianus* Hass. (Fabaceae) à ação do galhador *Euphalerus ostreoides* Crawf. (Hemiptera, Psyllidae). *Revista Brasileira de Botânica* 29(4):657-667.

- OLIVEIRA, J.C.; MAIA, V.C. 2005. Ocorrência e caracterização de galhas de insetos na Restinga de Grumari (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro. v. 63, n. 4, p. 669-675.
- PILSON, D. 2000. Herbivory and natural selection on flowering phenology in wild sunflower, *Helianthus annuus*. *Oecologia* 122:72-82.
- RASBAND, W.S. ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.net/ij/>, 1997-2024.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- REHILL, B.;SCHULTZ, J. 2002. Opposing survivorship and fecundity effects of host phenology on the gall-forming aphid *Hormaphis hamamelidis*. *Ecological Entomology* 27:475-483.
- ROHFRITSCH, O.; ANTHONY, M. 1992. Strategies on gall induction by two groups of homopterans. 102-117. In: Shorthouse JD & Rohfritsch O. Biology of insect induced galls. Oxford University, Oxford.
- SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. 1994. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E.D., CALDWELL, M.M. (Eds.), *Ecophysiology of Photosynthesis*, Ecological Studies, vol. 100. Springer, Berlin, pp. 49-70
- SIEBKE, K., WEIS, E., 1995a. Assimilation images of leaves of *Glechoma hederacea*: analysis of non-synchronous stomata related oscillations. *Planta* 196: 155-165.
- SILVA, L.T.P.; SILVA, A.G. 2014. Reações morfoanatômicas em folhas de *Myrciaria floribunda* (Myrtaceae) sob a influência de galhas. *Natureza on line* 12 (1): 41-44.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. *Fisiologia Vegetal*. Ed. Artmed.
- YUKAWA, J. 2000. Synchronization of galls with host plant phenology. *Population Ecology* 42: 105-113.