

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Susan Vieira Gomes

**DANO FOLIAR POR INSETOS EM SAPUCAIAS (*Lecythis pisonis*):
Coloração da folha como defesa anti-herbivoria?**

BELO HORIZONTE
2022

Susan Vieira Gomes

**DANO FOLIAR POR INSETOS EM SAPUCAIAS (*Lecythis pisonis*):
Coloração da folha como defesa anti-herbivoria?**

Versão final

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen

BELO HORIZONTE

2022

043

Gomes, Susan Vieira.

Dano foliar por insetos em Sapucaias (*Lecythis pisonis*): Coloração da folha como defesa anti-herbivoria? [manuscrito] / Susan Vieira Gomes. – 2022.
37 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

1. Ecologia. 2. Antocianinas. 3. Lecythidaceae. 4. Herbivoria. 5. Insetos. I. Cornelissen, Tatiana Garabini. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 502.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Dano foliar por insetos em Sapucaias (*Lecythis pisonis*): coloração da folha como defesa anti-herbivoria?"

SUSAN VIEIRA GOMES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **17 de agosto de 2022**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Doutor(a) Giselle Martins Lourenço
(UFMG)

Doutor(a) Márcilio Fagundes
(UNIMONTES)

Doutor(a) Tatiana Garabini Cornelissen
(Presidente da Banca)

Belo Horizonte, 17 de agosto de 2022.

Assinaturas dos Membros da Banca



Documento assinado eletronicamente por **Giselle Martins Lourenço, Usuário Externo**, em 17/08/2022, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcilio Fagundes, Usuário Externo**, em 25/08/2022, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Garabini Cornelissen, Membro**, em 01/09/2022, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1682863** e o código CRC **1560706E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa que foi fundamental para a realização deste projeto.

Agradeço aos professores vinculados ao PPG-ECMVS da UFMG que, apesar das restrições impostas desde 2020 ocasionadas pela pandemia da Covid-19, estiveram presentes e contribuíram para a minha formação.

Agradeço também aos coordenadores do Centro de Síntese Ecológica e Conservação (CSEC), em especial à Tatiana pela confiança e oportunidade de conhecê-la melhor como orientadora e pesquisadora.

Agradeço aos companheiros de laboratório: Nathália, Nicolas e Letícia. Agradeço a contribuição em etapas importantes desta pesquisa.

Agradeço aos familiares e amigos pelo apoio e paciência durante essa jornada. Aos meus pais, Ivete e João que me apoiaram em todos os momentos. Marcelo e Ramon, que sempre foram compreensivos, companheiros e deram forças para continuar. Zudy, obrigada pelo apoio e conversas. Sofia e Vitória, minhas amigas de longa data que sempre estiveram presentes. Aline e Nathália, pela amizade e apoio no período que estive em Belo Horizonte.

Resumo

A herbivoria é uma interação ecológica caracterizada pelo consumo de tecidos vegetais por animais. Dentre os animais mais diversos do planeta estão os insetos, que estão presentes nos ambientes naturais e urbanos, atuando como predadores, polinizadores, decompositores e herbívoros nestes locais. A herbivoria por insetos é modulada pela presença de defesas físicas e químicas das plantas, que atuam impedindo ou desencorajando o ataque. Estudos prévios relacionaram a mudança de cor ao longo da ontogenia foliar à mudanças na estratégia de defesa contra herbivoria, entretanto há poucos estudos que investigam como a coloração das folhas influencia a herbivoria por insetos. As sapucaias (*Lecythis pisonis*) são árvores que apresentam brotamento e floração no mês de setembro no sudeste do Brasil. Ela apresenta uma característica notável para o estudo de padrões temporais de herbivoria uma vez que suas folhas jovens possuem coloração rosa e tornam-se verdes com o tempo. Estudos prévios em outros sistemas planta-herbívoro indicam uma relação entre a coloração vermelha, dada pela presença de antocianinas, e os taninos foliares. Essa relação pode sugerir que a coloração foliar, quando jovem, pode ser um sinal de defesa anti-herbivoria para os insetos. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a herbivoria por insetos e defesa foliar em sapucaias, levando em consideração a coloração das folhas no mês de brotamento e temporalmente ao longo de toda a estação chuvosa no Brasil. Folhas jovens rosa apresentaram menor área foliar e maior área foliar específica se comparadas às folhas verdes no mês de brotamento, indicando que folhas rosa podem ser mais susceptíveis à herbivoria que as verdes devido à menor defesa física. Entretanto, observamos não haver diferenças na herbivoria por insetos entre folhas verdes e rosa no mês de brotamento, possuindo em média 4,6% de área foliar perdida e 3,7% de frequência de folhas atacadas em setembro considerando todas as colorações. Ao longo da estação chuvosa, de outubro a março, não encontramos diferenças significativas na herbivoria, que foi, em média, 4,5% de área removida e 9,3% de frequência de folhas atacadas, considerando todos os meses. A área foliar perdida entre os meses de setembro a março foi similar, entretanto o número de folhas atacadas em setembro foi significativamente menor se comparados à outubro e demais meses da estação chuvosa. Apesar da similaridade na herbivoria encontrada nas folhas de diferentes cores no primeiro mês é possível que existam mecanismos de defesa

(químico-visual ou mecânico) uma vez que após a mudança de cor há aumento no número de folhas atacadas. Outra possibilidade é a de que com a mudança de estação (seca para chuvosa) exista um aumento da abundância e atividade dos herbívoros que causam um aumento da frequência de herbivoria. Pesquisas futuras poderão elucidar se há relação entre os pigmentos foliares e os níveis de defesa química ou mecânica contra a herbivoria em sapucaias, ao longo da ontogenia. Por fim, sugerimos uma hipótese alternativa para explicar a presença de cor foliar rosa em folhas jovens de sapucaias, aqui intitulada “*display* de atração de polinizadores”.

Palavras-chave: Antocianina; folha jovem vermelha; herbivoria; inseto herbívoro.

Abstract

Herbivory is an ecological interaction characterized by the consumption of plant tissue by animals. Among the most diverse animals on the planet are insects, which are abundant in both natural and urban environments, acting as predators, pollinators, decomposers, and herbivores in these places. Herbivory by insects is modulated by the presence of physical and chemical plant defenses, which act to prevent or discourage the attack. Studies have linked color change along leaf ontogeny to changes in defense strategies against herbivory, however, few studies have related herbivory to leaf coloration. Sapucaias (*Lecythis pisonis*) are arboreal plants that present leaf budding and flowering in September in southeastern Brazil. It presents a remarkable feature for studying temporal patterns of herbivory since its young leaves are pink and turn green with the advancing of the wet season. Previous studies in other plant-herbivore systems indicate a relationship between the red color, given by the presence of anthocyanins, and leaf tannins. This relationship may suggest that leaf coloration, when young, may be an anti-herbivory defense signal for insects. The objective of this research was to evaluate insect herbivory and leaf defense in sapucaia trees, taking into account leaf coloration in the month of budbreak and temporally throughout the rainy season in a tropical city in Brazil. Young pink leaves exhibited smaller leaf area and greater specific leaf area compared to green leaves in the month of budbreak, indicating that young pink leaves may be more susceptible to herbivory than green leaves due to this lower physical defense. However, there was no difference in leaf herbivory by insects between green and pink leaves in the budding month, with an average of 4.6% of leaf area lost and 3.7% of leaves attacked in September, considering all leaf colorations. Throughout the rainy season, from October to March, no significant differences were found in herbivory, which was, on average, 4.5% of leaf area removed and 9.3% of the frequency of leaves attacked, considering all months. The leaf area consumed by insects between September and March was similar, however, the number of leaves attacked in September was significantly lower when compared to October and subsequent months of the rainy season. Despite the similarity in leaf herbivory found in the leaves of different colors in the first month, there may be defense mechanisms (chemical-visual or mechanical) as after the color changes in leaves there is an increase in the number of attacked leaves. Another possibility is that with the change

of season (dry to rainy) there is an increase in the abundance and activity of herbivores causing an increase in the frequency of attacked leaves. Future research may elucidate whether there is a relationship between leaf pigments and levels of chemical and/or mechanical defense against herbivory in sapucaias and whether there are changes in leaf defense throughout their ontogeny. Finally, we suggest an alternative hypothesis to explain the presence of pink leaf color in young leaves in sapucaias, here called the "pollinator attraction display" hypothesis.

Keywords: Anthocyanin; delayed greening; herbivorous insect; herbivory; red young leaf; sapucaia.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MÉTODO.....	12
2.1. Área de estudo.....	12
2.2. Sistema de estudo.....	14
2.3. Coleta de dados.....	15
2.4. Medição da herbivoria e determinação dos traços foliares.....	16
2.5. Análise de dados.....	16
3. RESULTADOS.....	18
4. DISCUSSÃO.....	22
5. CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	28
ANEXOS.....	32

1. INTRODUÇÃO

Estruturas vegetais produzidas por plantas são consumidas por diversas espécies de insetos, os quais estão frequentemente presentes nos ecossistemas terrestres (HOWE; JANDER, 2008; SCHOWALTER, 2016). Insetos herbívoros são capazes de ocasionar mudanças evolutivas em plantas com as quais interagem e, em contrapartida, são afetados pelas estratégias de defesa produzidas por elas (BERNAYS, 1991; HARE, 2012). Dentre essas, existem as defesas físicas ou mecânicas como, por exemplo, o espessamento da cutícula foliar e o enrijecimento da parede celular pela deposição de lignina, ambos os processos são relacionados à expansão e maturação foliar e apresentam eficiência contra o ataque de herbívoros (KURSAR; COLEY, 1992; CHEN; HUANG, 2013). A defesa física pode ser avaliada por meio da área foliar específica (*SLA*, em inglês), que é a razão entre a área foliar e a massa foliar seca, e é negativamente relacionada à rigidez foliar e investimento em compostos de carbono, como a lignina (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Outra forma de defesa é a química, através da produção de metabólitos secundários que podem afetar o crescimento, sobrevivência e reprodução dos insetos (COLEY; KURSAR, 1996; SIMMONDS, 2003; REHMAN; KHAN; BADRUDDIN, 2012; MASKATO et al., 2014). Dentre os metabólitos produzidos pelas plantas é possível citar os da via metabólica dos fenilpropanóides, uma classe de compostos diversa que inclui os taninos, ácidos fenólicos e antocianinas, cuja produção em certos tecidos pode ser correlacionada (SIMMONDS, 2003; REHMAN; KHAN; BADRUDDIN, 2012; SINGH; KAUR; KARIYAT, 2021).

Antocianinas são flavonóides derivados das antocianidinas, sendo consideradas pigmentos vegetais por serem capazes de dar cor em tons de vermelho, rosa, roxo e azul a diversas estruturas, como flores, frutos e também folhas (DE LA ROSA et al., 2019; HUGHES et al., 2021). Folhas de certas espécies apresentam quantidades variadas de antocianinas no epitélio ou no mesófilo foliar que fornecem à essas folhas jovens cor vermelha ou rosa (TIMMINS; HOLBROOK; FEILD, 2002). Esse fenômeno de produção de antocianinas em folhas jovens é associado ao chamado *delayed greening*, um processo de atraso na produção de clorofila e/ou no desenvolvimento dos cloroplastos, o que as tornam menos produtivas nesta fase inicial do desenvolvimento (KURSAR; COLEY, 1992). O *delayed greening* pode fazer com que folhas jovens tenham cores não-verdes,

apresentando tons de branco ou verde pálido ou tons avermelhados ou rosa, dada a presença de antocianinas (DOMINY et al., 2002). Em um levantamento na República do Panamá foi encontrado que cerca de 58% das espécies analisadas apresentavam *delayed greening*, sendo que 40% delas apresentaram cor vermelha, o que parece indicar ser um fenômeno comum em folhas jovens de espécies tropicais (KURSAR; COLEY, 1992).

A cor vermelha em folhas jovens de espécies tropicais tem sido associada à uma estratégia de defesa contra a herbivoria por insetos (KURSAR; COLEY, 1992; DOMINY et al., 2002; KARAGEORGOU; MANETAS, 2006; CHEN; HUANG, 2013; CHEN; HUANG; TANG, 2021). O mecanismo pelo qual esta defesa acontece ainda é causa de debate na comunidade científica, entretanto há três hipóteses ecologicamente orientadas para explicar tal padrão de coloração e sua relação com o ataque de insetos herbívoros. A primeira delas é a de “sinal de desvantagem” (HAMILTON; BROWN, 2001), emergida de estudos com a mudança da cor foliar no outono em regiões temperadas, que diz que folhas com cores vibrantes são um sinal para os herbívoros de que a planta investe em compostos de defesa química. A segunda hipótese seria a de “anti-camuflagem dos insetos” (LEV-YADUN et al., 2004), na qual a cor vermelha seria uma forma de minar a camuflagem dos insetos e desta forma eles estariam mais vulneráveis aos seus inimigos naturais, como predadores e parasitóides. A terceira hipótese envolve a “clipse ou camuflagem das folhas” (KARAGEORGOU; MANETAS, 2006) que sugere que o acúmulo de antocianinas não é uma forma de “sinal” para os insetos, mas uma forma de encobrir o “sinal” verde da folha utilizada por eles, tornando-a mais camuflada. Sabe-se que os insetos não possuem células fotossensíveis à luz para frequências acima dos 610nm, algo que os torna “cegos” para o vermelho, o que tornaria a “hipótese de cclipse” plausível (MANETAS, 2006; VAN DER KOOI et al., 2021). Apesar dos diversos estudos existentes que objetivaram testar estas hipóteses na região temperada, existem poucas evidências empíricas dos níveis de herbivoria foliar em espécies brasileiras com *delayed greening* e coloração não-verde.

Dentre as espécies nativas do Brasil com folhas jovens não-verdes é possível destacar as sapucaias. A sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess) é uma espécie com distribuição nos biomas Amazônia e Mata Atlântica, comumente encontradas de forma ornamental em regiões urbanizadas (MORI, 1995; CARVALHO, 2006). Na região sudeste do Brasil essa planta floresce em setembro e suas flores surgem

juntamente com as folhas jovens de cor rosa (RIBEIRO et al., 2022). Ao longo dos dias a copa desta árvore transforma-se gradualmente pelo amadurecimento de suas folhas que se tornam verde-escuras em outubro, permanecendo desta cor até a deciduidade, quando tornam-se amarelas e caem no mês de agosto (CARVALHO, 2006; RIBEIRO et al., 2022). Devido a essas características, as sapucaias tornam-se um modelo de estudo novo para a documentação e análise da herbivoria em uma perspectiva temporal e levando em consideração as diferentes colorações das folhas presentes na planta.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a herbivoria foliar de sapucaias (*Lecythis pisonis* Cambess) do surgimento de suas folhas de cor rosa até a mudança para a cor verde ao longo da estação chuvosa. Considerando que folhas de cor rosa são as primeiras a surgirem e apresentam menores quantidades de defesas físicas que folhas de cor verde, hipotetizamos que folhas rosa têm menor área foliar e maior área foliar específica se comparadas às folhas verdes em sapucaias no mês de brotamento (setembro). Considerando que folhas de cor rosa têm maiores quantidades de compostos de defesa química associados à via dos fenilpropanóides que folhas de cor verde, hipotetizamos que folhas rosa terão menor herbivoria se comparadas às folhas verdes. Nossa última premissa é a de que com a chegada da estação chuvosa (outubro a março) haverá um aumento da abundância e atividade dos herbívoros, e dessa forma hipotetizamos que as plantas apresentarão um aumento da herbivoria ao longo do tempo.

2. MÉTODO

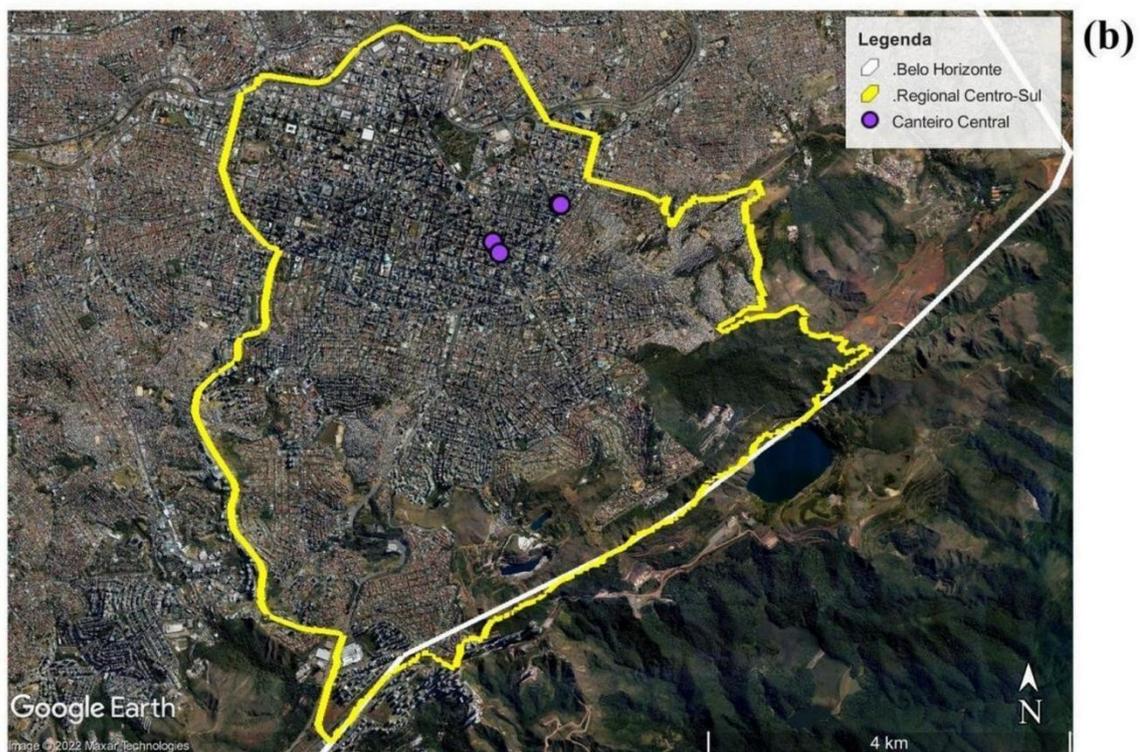
2.1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado em áreas verdes urbanas localizadas no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. A capital de Minas Gerais possui aproximadamente 331 km² (IBGE, 2022) e apresenta 82,7% dos domicílios urbanos em vias públicas com arborização (IBGE, 2010). Existem aproximadamente 566 espécies de plantas arbóreas presentes em parques urbanos, praças, calçadas e canteiros centrais ao longo da cidade (FREITAS, 2021; PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2022). Apesar do alto nível desenvolvimento urbano e modificação antrópica da paisagem, a cidade apresenta múltiplas localidades potenciais para o abrigo de espécies nativas e exóticas de insetos e plantas, o que possibilitou a realização do presente estudo.

A cidade de Belo Horizonte possui 203 sapucaias plantadas em diversas localidades (FREITAS, 2021). Dentre estas, foram selecionadas as árvores presentes em áreas urbanas como calçadas, canteiros centrais e praças, levando-se em consideração a viabilidade da coleta por meio de instrumento de poda adaptado a um cabo extensor de 3 m. Árvores com galhos acessíveis (altura de até 4,5m) foram incluídas neste estudo. Ao todo, 25 árvores foram selecionadas (Figura 1) e submetidas a coletas mensais no período entre o brotamento foliar e floração, em setembro de 2021, até o final da estação chuvosa, em março de 2022.

Devido à relação existente entre a abundância de insetos e os fatores abióticos do ambiente (WOLDA, 1978), os dados de temperatura (°C) e pluviosidade (mm) de Belo Horizonte no período de amostragem (setembro de 2021 a março de 2022), foram obtidos através do banco de dados da estação A521-Pampulha no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (veja o anexo A).

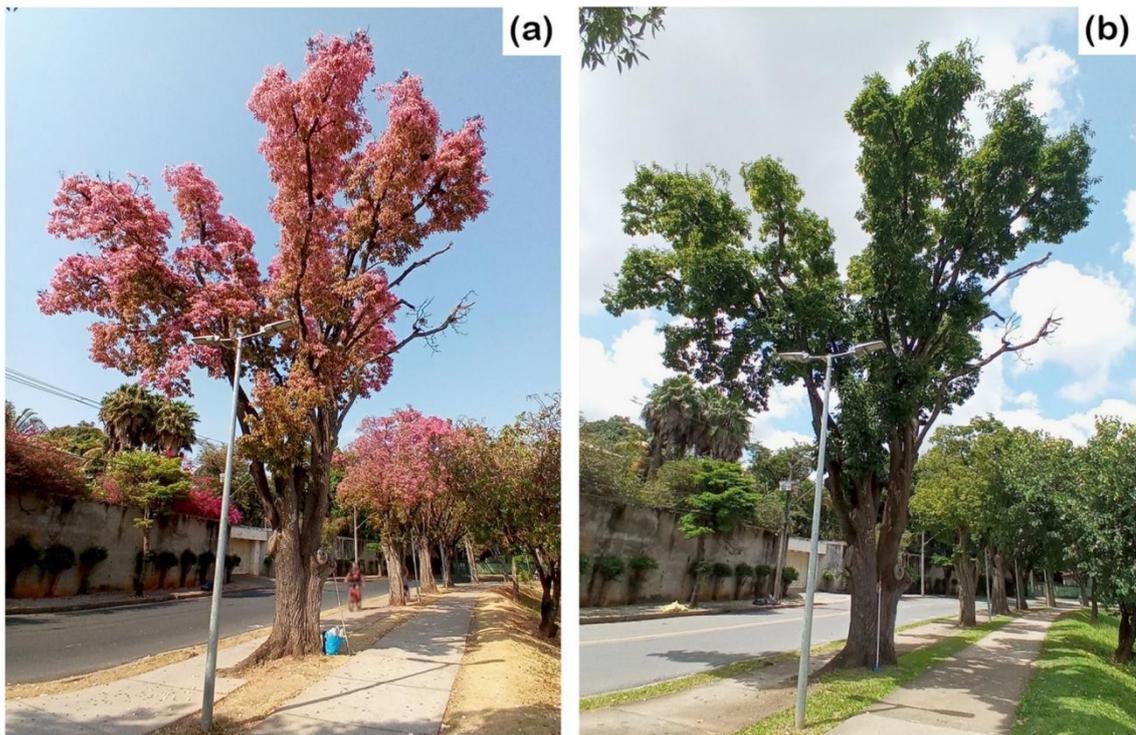
Figura 1 - Mapa indicando as 25 sapucaias coletadas (pontos) em diversas áreas (cores representando o tipo de local) em Belo Horizonte, MG - Brasil. As regionais Pampulha (a) e Centro-Sul (b) aparecem em destaque. Alguns pontos estão sobrepostos devido a proximidade entre as árvores coletadas. Considerando-se ambas regionais, árvores foram amostradas em praças (2 árvores), calçadas (4 árvores), canteiros centrais (13 árvores) e Orla da Lagoa da Pampulha (6 árvores). Mapas criados pela autora no programa Google Earth Pro versão 7.3 usando as coordenadas aproximadas de cada planta e os limites municipal e regional disponíveis no site da prefeitura de Belo Horizonte.



2.2. Sistema de estudo

As sapucaias (*Lecythis pisonis* Cambess) são plantas arbóreas nativas do Brasil, presentes nos biomas Amazônia e Mata Atlântica (CARVALHO, 2006). Além da ocorrência em áreas naturais, indivíduos desta espécie são comumente encontrados plantados nas cidades de forma ornamental (MORI, 1995). São árvores que podem alcançar 55 m altura, mas atingem de 10 a 20 m quando crescem isoladas, e podem apresentar diâmetro do tronco (DAP) de 50 a 150 cm (LORENZI, 1992; MORI; PRANCE; ZEEUW, 1990; RIBEIRO et al., 2022). As sapucaias destacam-se na paisagem durante o mês de setembro, pois sua floração coincide com o surgimento de novas folhas com a cor rosa (Figura 2a) e neste momento a copa ampla desta árvore adquire um tom rosa-lilás pelo aparecimento dessas novas estruturas (RIBEIRO et al., 2022). Suas folhas novas de cor rosa tornam-se verdes com o passar dos dias (Figura 2b), tornando-se verde-escuras após o fim da floração em meados de outubro, permanecendo desta cor até a deciduidade, quando tornam-se amarelas e caem no mês de agosto (CARVALHO, 2006; RIBEIRO et al., 2022).

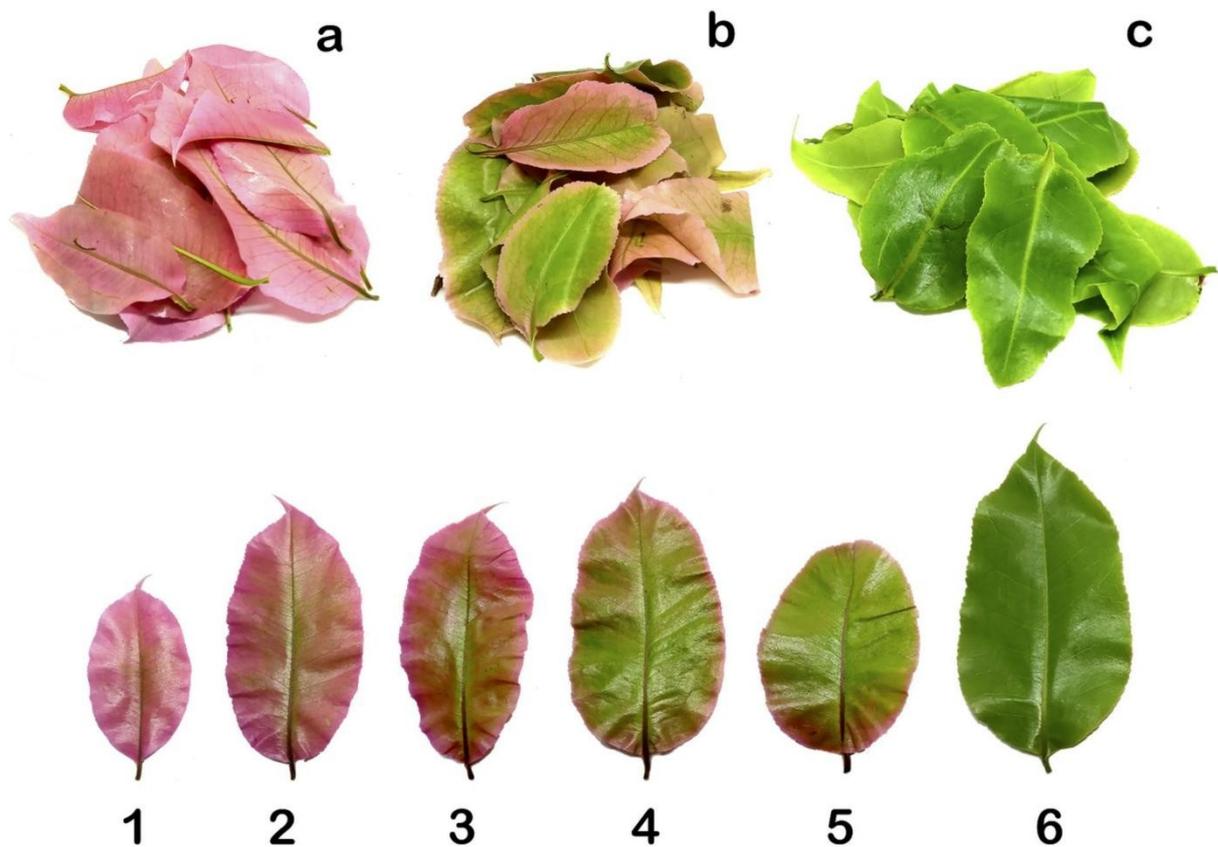
Figura 2 - Fotografias de indivíduos de sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess) plantados próximo à Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, MG, Brasil). A imagem mostra a mudança da coloração foliar desta planta ao longo dos meses, mostrando a comparação entre os meses de Setembro de 2021 (a) e Fevereiro de 2022 (b). Fotografias do acervo pessoal da autora.



2.3. Coleta de dados

As folhas foram coletadas sempre no período da manhã entre setembro de 2021 e março de 2022 e levadas ao laboratório, onde foram armazenadas em refrigeração até o momento da triagem. Apenas no mês de setembro as folhas foram separadas em três categorias de acordo com a coloração: rosa, transição e verde (Figura 3). A categoria “transição” foi usada para folhas que possuíam ambas as cores (Figura 3b). A categorização foi feita sempre pela mesma pesquisadora para que se mantivesse as características visuais padronizadas, uma vez que não foram feitas medições para validação das cores. Nos demais meses (outubro de 2021 a março de 2022) as folhas verdes, única coloração disponível, foram coletadas.

Figura 3 - Folhas frescas de sapucaias analisadas neste estudo, evidenciando folhas rosas (letra a e número 1), folhas em transição (letra b e números 2 a 5) e folhas verdes (letra c e número 6). Todas as folhas mostradas na figura foram coletadas no mês de setembro de 2021 em Belo Horizonte, MG, Brasil. Fotografias do acervo pessoal da autora.



2.4. Medição da herbivoria e determinação dos traços foliares

Em todos os meses foram selecionadas ao acaso 50 folhas por planta e essas foram prensadas e secas em estufa a 50°C por 24 horas. As folhas com sinais de herbivoria foram digitalizadas e a área foliar consumida por herbívoros foi medida utilizando-se o software ImageJ (versão 1.53). Folhas assimétricas e com herbivoria por insetos minadores e raspadores de folha foram excluídas do banco de dados desta pesquisa e apenas folhas danificadas por insetos mastigadores foram consideradas neste estudo para o cálculo de herbivoria.

Para o cálculo das variáveis de herbivoria, foram utilizadas duas fórmulas: o “nível de herbivoria” e a “frequência de herbivoria”. O “nível de herbivoria” é a razão entre a área foliar consumida pelos herbívoros dividida pela área total da folha, em porcentagem. A “frequência de herbivoria” é a razão entre o número de folhas atacadas dividida pelo total de folhas coletadas, em porcentagem.

Para o cálculo de nível médio de herbivoria usou-se como réplicas as folhas com algum sinal de herbivoria coletadas em cada indivíduo de sapucaia. Entretanto, para o cálculo de frequência média de herbivoria todas as folhas das plantas, com e sem herbivoria foram consideradas como réplicas, usando-se o valor zero para as plantas que não possuíam folhas com sinais de ataque.

Como medidas de traços foliares, utilizou-se a área foliar das folhas intactas (em cm²) e também a área foliar específica (*SLA*, em inglês), que é a razão entre a área foliar e a massa foliar seca, dada em mm² mg⁻¹. Este traço funcional reflete a quantidade de carbono que é convertido em área foliar para cada unidade de biomassa e é negativamente relacionado à quantidade de compostos de carbono como a lignina (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Para tal, selecionamos 5 plantas e 10 folhas intactas de cada uma das três categorias de cor em cada planta. As folhas foram digitalizadas e a área foliar total medida usando o software ImageJ (versão 1.53). Para os dados de massa, cada folha teve sua massa seca mensurada através de uma balança de precisão.

2.5. Análise de dados

Foram construídos Modelos Lineares Generalizados Mistos (*GLMM*), utilizando cada indivíduo de sapucaia como variável preditora aleatória do modelo, uma vez que um mesmo indivíduo possuía as três categorias de cor no primeiro mês

e os mesmos indivíduos eram amostrados ao longo dos meses. As variáveis área foliar, área foliar específica, nível e frequência de herbivoria foram as variáveis resposta do modelo, enquanto as categorias de cor e meses de coleta foram as variáveis preditoras fixas, como demonstrado na tabela 1. Para os dados de *SLA*, área foliar e nível de herbivoria foi utilizado a distribuição *gamma* e para os de frequência de herbivoria foi utilizado a distribuição binomial negativa. A criação e comparação entre modelos completos e nulos e comparações planejadas entre grupos foram realizadas no software R (versão 4.1.2), utilizando o pacote lme4 (BATES et al., 2015).

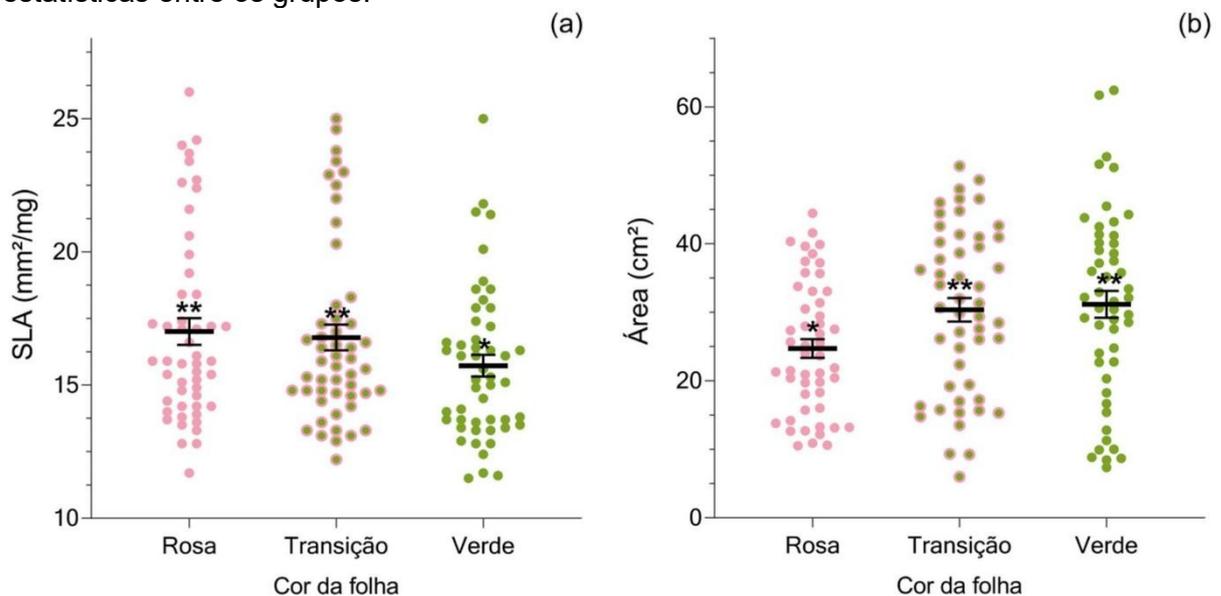
Tabela 1 - Descrição dos modelos completos criados para a análise dos dados, evidenciando as variáveis incluídas em cada comparação.

Variável resposta	Variável preditora	
	Fixa	Aleatória
Área foliar	Categorias de cor (rosa, transição e verde)	Identificação das plantas (P1 - P25)
<i>SLA</i>	Categorias de cor (rosa, transição e verde)	Identificação das plantas (P1 - P25)
Nível de herbivoria	Meses de coleta (setembro/21 - março/22)	Identificação das plantas (P1 - P25)
Frequência de herbivoria	Meses de coleta (setembro/21 - março/22)	Identificação das plantas (P1 - P25)
Nível de herbivoria	Meses de coleta (outubro/21 - março/22)	Identificação das plantas (P1 - P25)
Frequência de herbivoria	Meses de coleta (outubro/21 - março/22)	Identificação das plantas (P1 - P25)

3. RESULTADOS

Foram encontradas diferenças na área foliar específica (*SLA*) entre as três categorias de cor em Setembro de 2021 ($\chi^2=15.16$, $gl=2$, $p<0.001$, Figura 4a), sendo que as folhas de coloração rosa e transição apresentaram valores de *SLA* semelhantes e maiores ($17 \text{ mm}^2 \text{ mg}^{-1}$ e $16,8 \text{ mm}^2 \text{ mg}^{-1}$, respectivamente; $Z=0.558$, $p=0.802$) que diferem da coloração verde ($15,7 \text{ mm}^2 \text{ mg}^{-1}$; $Z=3.715$, $p<0.001$), que foi significativamente menor. Em relação à área foliar, foram encontradas diferenças entre as colorações ($\chi^2=15.886$, $gl=2$, $p<0.001$, Figura 4b), sendo que as folhas verdes e em transição apresentaram área similar ($30,9 \text{ cm}^2$ e $30,4 \text{ cm}^2$, respectivamente; $Z=0.445$, $p=0.871$) e diferem das folhas rosa ($24,7 \text{ cm}^2$; $Z=3.757$, $p<0.001$), que foram significativamente menores.

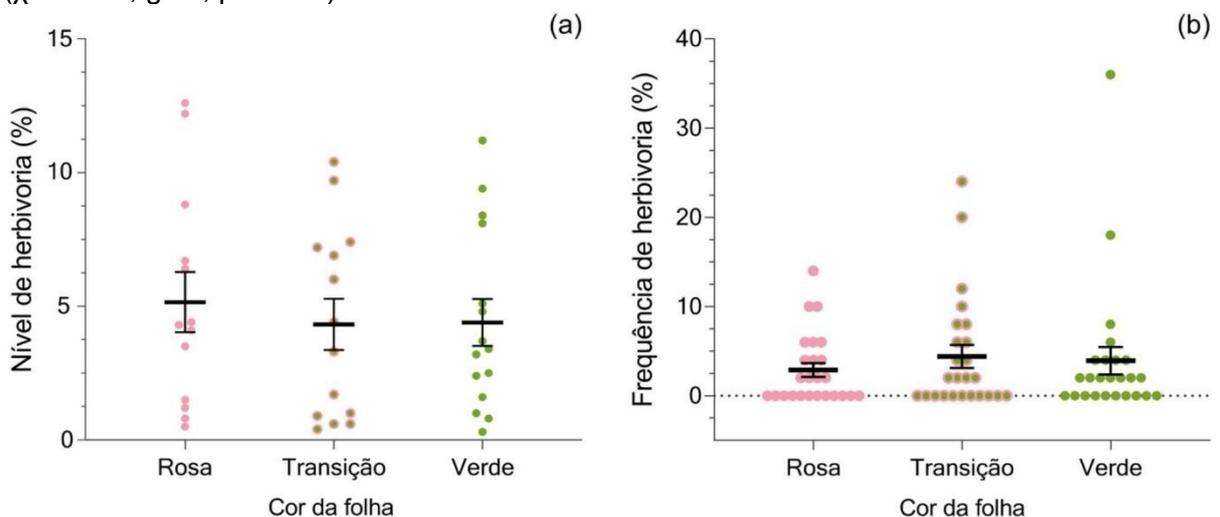
Figura 4. Área foliar específica - *SLA* (a) e a área foliar (b) de folhas de sapucaias, considerando as três categorias de cor presentes no mês de setembro de 2021. Linhas horizontais em cada grupo de cor de folhas representam média e erro padrão e os pontos representam cada folha intacta. Os valores encontrados de *SLA* neste mês diferiram entre as três categorias de cor ($\chi^2=15.16$, $gl=2$, $p<0.001$) e os valores de área foliar diferiram entre as três categorias de cor ($\chi^2=15.886$, $gl=2$, $p<0.001$). Asteriscos representam diferenças estatísticas entre os grupos.



Durante todo o período de estudo foram coletadas 11.250 folhas de sapucaias, das quais 835 apresentaram herbivoria por insetos mastigadores (veja o anexo B: a-d). Detectamos a presença de herbivoria por insetos minadores (57 folhas, anexo B: e-f) e por raspadores (24 folhas, anexo B: g-h) em sapucaias, entretanto estas não foram computadas para o cálculo de herbivoria foliar no presente estudo. Foram registrados por meio de fotografias os insetos que estavam nos galhos amostrados, sendo eles representantes das ordens Hemiptera, Hymenoptera e Lepidoptera (veja o anexo C: a-d). Considerando-se todos os sete meses analisados (setembro de 2021 a março de 2022), o nível médio de herbivoria das sapucaias foi de $4,5\% \pm 0,4\%$ (Média \pm erro padrão) e a frequência média de herbivoria foi de $7,4\% \pm 0,7\%$ (Média \pm erro padrão).

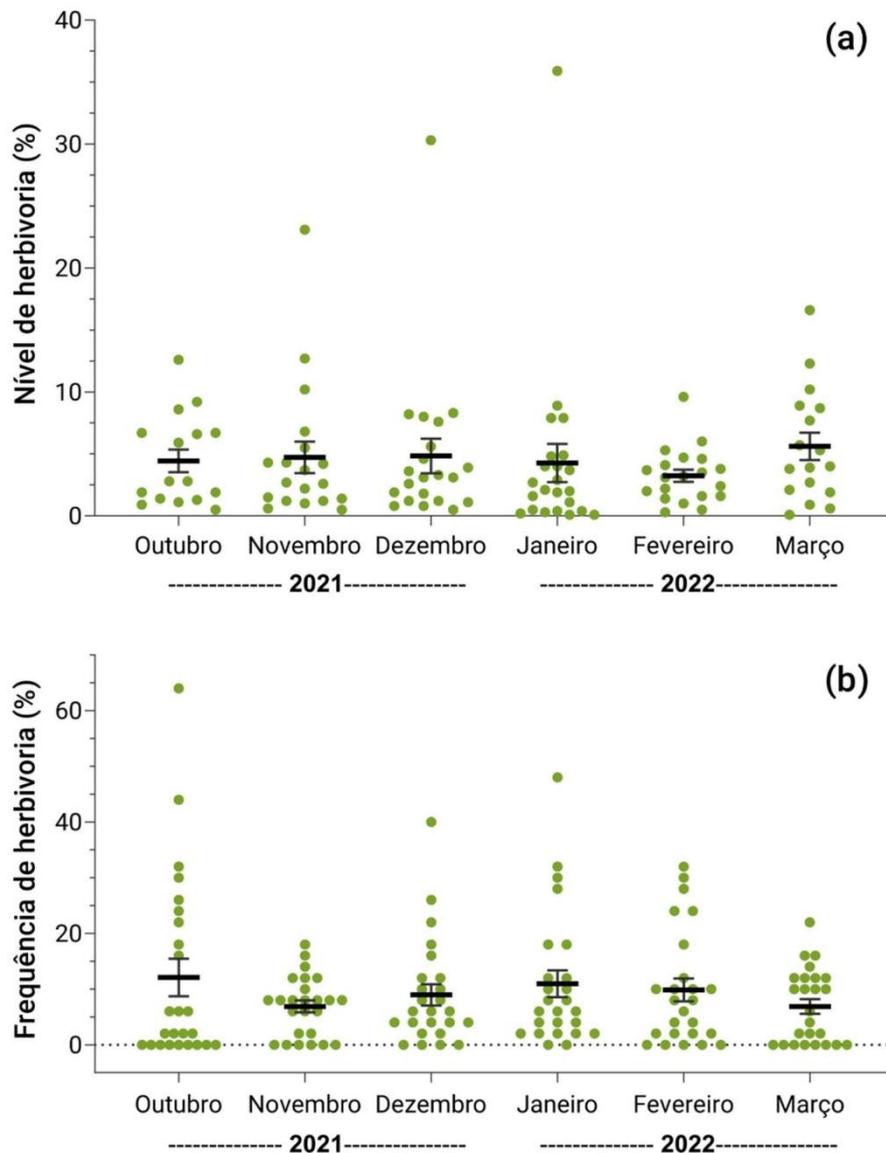
Em relação à herbivoria foliar causada por insetos em folhas novas em sapucaias em setembro, não foram encontradas diferenças significativas entre as categorias de cor estudadas, tanto para o nível de herbivoria ($\chi^2=0.186$, $gl=2$, $p=0.911$, Figura 5a) quanto para a frequência de herbivoria ($\chi^2=0.828$, $gl=2$, $p=0.661$, Figura 5b). Em média, levando em consideração as três categorias de cor de folha, o nível de herbivoria foi de $4,6\% \pm 0,6\%$, e a frequência de herbivoria foi de $3,7\% \pm 0,7\%$ (veja a Figura 5 para observação dos valores parciais em cada categoria).

Figura 5. Nível (a) e a frequência (b) de herbivoria média das sapucaias considerando as três categorias de cor presentes no mês de Setembro de 2021. Linhas horizontais em cada grupo de cor de folhas representam média e erro padrão e os pontos representam cada indivíduo de planta amostrada. Os valores encontrados neste mês não diferiram entre as categorias de cor tanto para o nível ($\chi^2=0.186$, $gl=2$, $p=0.911$) quanto para a frequência ($\chi^2=0.828$, $gl=2$, $p=0.661$).



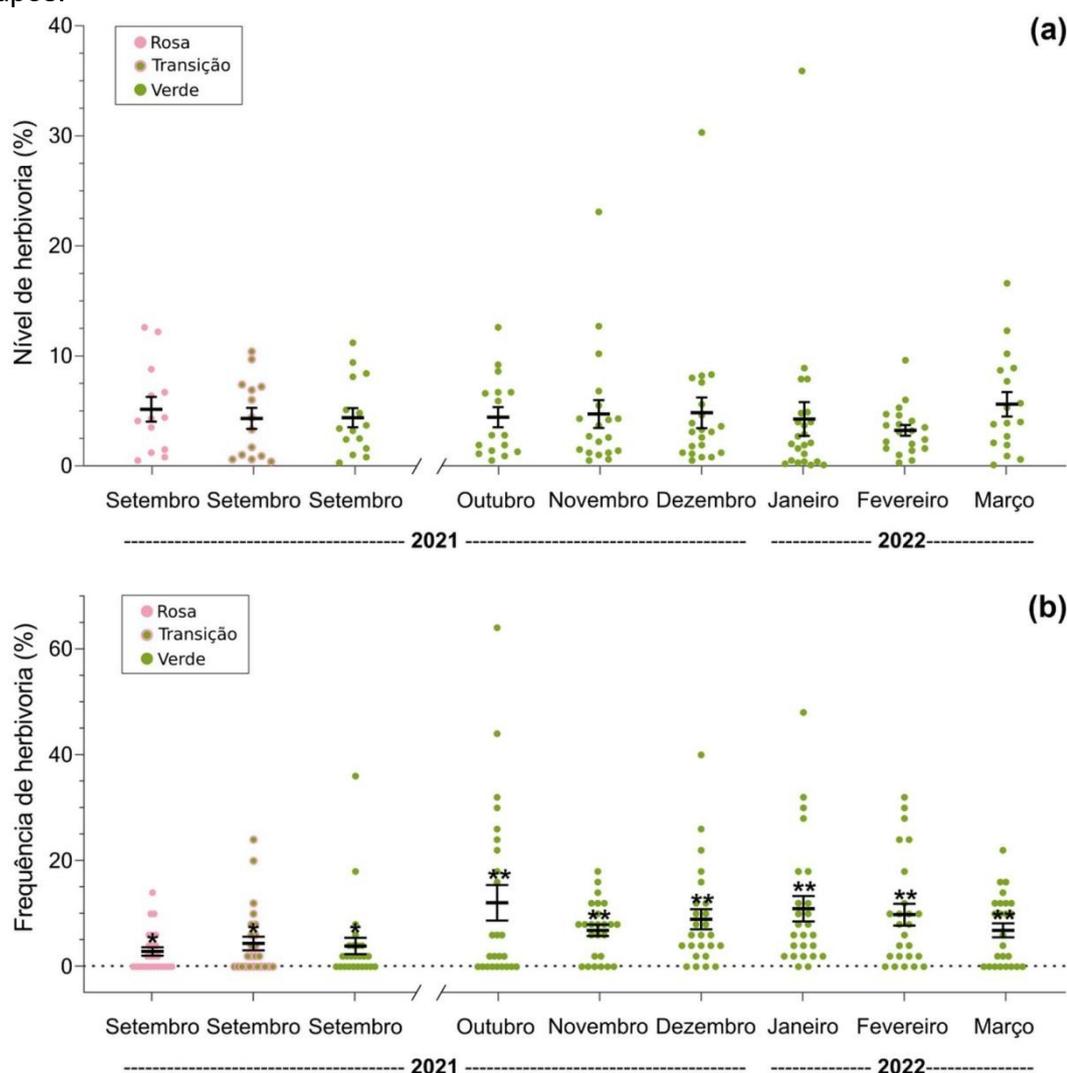
Não foram encontradas diferenças significativas no nível de herbivoria ($\chi^2=3.518$, $gl=5$, $p=0.621$, Figura 6a) e na frequência de herbivoria ($\chi^2=3.198$, $gl=5$, $p=0.67$, Figura 6b) entre os meses da estação chuvosa (outubro de 2021 a março de 2022). Considerando-se todos estes seis meses avaliados, o nível de herbivoria foi de $4,5\% \pm 0,5\%$, e a frequência de herbivoria foi de $9,3\% \pm 0,9\%$ (veja a Figura 6 para observação dos valores parciais em cada mês).

Figura 6. Nível (a) e a frequência (b) de herbivoria média das sapucaias entre os meses de outubro de 2021 e março de 2022. Linhas horizontais em cada grupo de dados mensais representam média e erro padrão e os pontos representam cada indivíduo de planta amostrada. Os valores encontrados nos meses não diferiram entre si tanto para o nível ($\chi^2=3.518$, $gl=5$, $p=0.621$) quanto para a frequência ($\chi^2=3.198$, $gl=5$, $p=0.67$) de herbivoria.



Observou-se que o nível de herbivoria foliar foi similar ao longo de todos os meses de coleta, entre setembro de 2021 à março de 2022 ($\chi^2=3.5817$, $gl=6$, $p=0.073$, Figura 7a). Entretanto, existem diferenças significativas na frequência de herbivoria nos meses de setembro à março ($\chi^2=27.637$, $gl=6$, $p<0.001$, Figura 7b), sendo setembro o mês com menor proporção de folhas atacadas em comparação com outubro (3,7% e 12,1%, respectivamente, $Z=4.769$, $p<0,001$) e em comparação com os demais meses da estação chuvosa (3,7% e 9,3%, respectivamente, $Z=4.405$, $p<0,001$).

Figura 7. Nível (a) e frequência (b) de herbivoria média das sapucaias entre os meses de setembro de 2021 e março de 2022. Linhas horizontais em cada grupo de dados mensais representam média e erro padrão e os pontos representam cada indivíduo de planta amostrada. Os valores encontrados nos meses foram similares para o nível de herbivoria ($\chi^2=3.5817$, $gl=6$, $p=0.073$), entretanto existem diferenças na frequência de herbivoria ($\chi^2=27.637$, $gl=6$, $p<0.001$). Houve um aumento da herbivoria ao comparar os meses de setembro e outubro ($Z=4.769$, $p<0,001$), bem como setembro com os demais meses da estação chuvosa ($Z=4.405$, $p<0,001$). Asteriscos representam diferenças estatísticas entre os grupos.



4. DISCUSSÃO

No presente trabalho avaliamos a possível relação existente entre a cor foliar e a herbivoria em folhas jovens (rosa) e maduras (verdes) de sapucaias (*Lecythis pisonis*). Encontramos que folhas jovens rosa possuem menor área e maior *SLA* que folhas verdes no primeiro mês, sugerindo desta forma que elas seriam mais susceptíveis à herbivoria, devido à menor defesa física. Entretanto, a análise de nível e frequência de herbivoria mostrou que não existem diferenças significativas na herbivoria entre as colorações foliares no mês de brotamento (setembro), com cerca de 4,6% de área foliar removida por insetos. Ao longo dos meses da estação chuvosa não detectamos mudanças na herbivoria foliar, com média de 4,5% de área foliar removida. Tais valores são comparáveis ao nível de herbivoria reportado globalmente por Kozlov e colaboradores (KOZLOV et al., 2015a, 2015b) e contribui para o entendimento da remoção de tecido foliar por insetos em plantas tropicais, que têm sido negligenciadas nas amostragens globais (mas veja MENDES et al., 2021). Entretanto, ao compararmos a frequência de herbivoria entre todos os sete meses de observação foi possível detectar que o número de folhas atacadas foi menor no mês de setembro (3,7%) se comparado aos demais meses da estação chuvosa (9,3%). Desta forma, é possível sugerir que a coloração foliar em sapucaias esteja relacionada à defesa anti-herbivoria, apesar de tal estratégia de defesa não ser absoluta e não influenciar na quantidade de tecido removido por insetos. Outra possibilidade é a de que com o início da estação chuvosa ocorra o aumento da abundância e atividade dos insetos herbívoros, levando a uma maior frequência de folhas danificadas, como observado ao final da estação chuvosa nas plantas amostradas. Visto que as folhas das sapucaias foram retiradas a cada coleta mensal, nossos dados indicam a herbivoria real e absoluta por indivíduo ao final da estação chuvosa e não somente que as folhas acumularam herbivoria ao longo da estação úmida com a maior atividade de insetos.

Folhas jovens de sapucaias apresentaram diferenças em relação à área foliar e *SLA*, que podem estar relacionadas à maturação foliar. O presente estudo apontou que folhas de cor rosa têm menor tamanho e maiores valores de *SLA*, se comparadas às folhas verdes de um mesmo mês. Em um estudo com cinco espécies tropicais na República do Panamá foi encontrado que o enrijecimento foliar acontece após a total expansão das folhas (KURSAR; COLEY, 1992), e caso isso

seja um fenômeno amplo seria possível compreender as mudanças na área foliar e SLA encontradas nas sapucaias. A maturação foliar é caracterizada por mudanças nas estratégias de defesa da folha em espécies arbóreas, ocorrendo o aumento da dureza e redução de certas classes de compostos secundários como taninos condensados e fenólicos totais (BARTON; EDWARDS; KORICHEVA, 2019). As folhas jovens podem concentrar de 60% a 80% da herbivoria foliar de toda a duração da folha devido à características de palatabilidade aos insetos como a maior quantidade de nitrogênio e a menor dureza (COLEY, 1983; COLEY; AIDE, 1989; KURSAR; COLEY, 1991). Entretanto, folhas de plantas com *delayed greening* (aquelas com folhas jovens não-verdes) apresentam menores quantidades de clorofila e menor taxa fotossintética pré-expansão foliar (KURSAR; COLEY, 1992). Em suma, as folhas jovens não-verdes possuem menor quantidade de defesas físicas, característica essa que aumenta a pressão de herbivoria, em contrapartida possuem maiores quantidades de defesas químicas e menor valor nutricional, que por um lado pode desencorajar o consumo das folhas pelos insetos, suportando a hipótese de “sinal de desvantagem” (HAMILTON; BROWN, 2001), e por outro lado atuar apenas para reduzir as perdas por herbivoria, não afetando a preferência dos insetos. Outra linha argumentativa é a de que com o passar dos dias e com a mudança da coloração foliar de rosa para verde exista um aumento da capacidade dos insetos perceberem as folhas, algo proposto pela hipótese de “camuflagem das folhas” (KARAGEORGOU; MANETAS, 2006), e dessa forma folhas verdes em espécies com *delayed greening* sofrem maior pressão de herbivoria.

A herbivoria foliar em sapucaias não diferiu em relação às colorações foliares no mês do brotamento, permanecendo em um nível médio de 4,6% e frequência média de 3,7% de herbivoria. Em estudo anterior com plantas nativas de *Quercus coccifera* que comparou a herbivoria de folhas jovens vermelhas e verdes, foi relatado um menor nível de herbivoria em folhas vermelhas (13% em alta altitude e 16% em baixa altitude) em comparação com folhas verdes das mesmas plantas (18% em alta altitude e 24% em baixa altitude) (KARAGEORGOU; MANETAS, 2006). Outro estudo relatou diferenças significativas de herbivoria em folhas de espécies com *normal greening* (folhas jovens verdes) e *delayed greening* (folhas jovens vermelhas) do sul da China, sendo que os autores encontraram, em média, 17,2% de herbivoria em folhas vermelhas e 26,8% em folhas verdes (GONG et al., 2020). O presente estudo, apesar de não detectar a diferença de herbivoria entre

folhas jovens de sapucaias com diferentes colorações foliares no mês de brotamento, mostrou que a frequência de herbivoria em folhas de cor rosa é baixa, atingindo valores menores aos encontrados em outras espécies de plantas relatados na literatura. Sugere-se, portanto, que a possível defesa promovida pela cor rosa das folhas jovens em sapucaias não seja absoluta ou que a atividade e abundância dos herbívoros no fim da estação seca ainda seja baixa, o que explicaria a presença de herbivoria, porém em níveis abaixo de 5%. Outra possibilidade ainda não testada é a de que as folhas jovens em sapucaias são uma forma de estratégia reprodutiva sendo a folha de cor rosa um instrumento para aumentar a atração de polinizadores, uma vez que as folhas jovens rosa surgem no ápice dos galhos juntamente com botões florais, também de coloração rosa. É possível que a alocação de recursos direcionados para a síntese de antocianinas em folhas jovens, que geram a cor rosa, seja compensada pelo benefício trazido pela atração de polinizadores nesta espécie uma vez que as flores (órgão reprodutivo) geralmente competem com as folhas (órgão fotossintético) por recursos de produção estrutural existentes na planta (BAZZAZ et al., 1987). Desta forma, a coincidência de produção de folhas rosa e flores rosa em sapucaias no mês de setembro seria uma estratégia adaptativa para a maximização da atração de visitantes florais e/ou polinizadores, o que aumentaria a chance de visitas e reprodução dos indivíduos, algo que pode ser explorado em futuras pesquisas através de experimentos e avaliação de quantidade de sementes. Essa hipótese de “*display* de atração de polinizadores” pode ser parcialmente suportada uma vez que existe a produção de novos brotamentos de folhas de cor verde em sapucaias ao longo dos meses da estação chuvosa após o fim da floração (*observação pessoal*), entretanto evidenciamos que é necessário a confirmação de tal fenômeno através de pesquisas fenológicas nessa espécie.

Ao longo dos meses da estação chuvosa não encontramos diferenças significativas na herbivoria foliar, apresentando a média geral de 4,5% de nível de herbivoria e 9,3% de frequência de herbivoria. É possível que a herbivoria foliar detectada nos meses seguintes à mudança de cor seja afetada pela defesa física, mantendo assim a herbivoria constante ao longo da estação chuvosa. Chen, Huang e Tang (2021) avaliaram 151 espécies de plantas do sul da China com *normal greening* e *delayed greening* e encontraram que folhas vermelhas tinham significativamente menor quantidade de estruturas de defesa física, como tricomas foliares e cutícula espessa, o que levou os autores a concluir que a cor vermelha

de folhas jovens em espécies com *delayed greening* é uma forma de defesa alternativa à defesa mecânica. Por outro lado, Gong e colaboradores (2020) ao analisarem o nível de herbivoria em folhas maduras de 250 espécies de plantas do sul da China não encontraram diferenças significativas na herbivoria entre espécies com *normal* e *delayed greening*, apresentando respectivamente 38% e 39% de herbivoria. Desse modo, é provável que com o amadurecimento da folha os mecanismos de defesa física a protejam do dano ocasionado por insetos herbívoros, mantendo o nível de herbivoria constante ao longo da estação chuvosa. Entretanto, tais cenários devem ser testados à luz da variação na quantidade e qualidade de diversos mecanismos de defesa das sapucaias ao longo da ontogenia.

Detectamos diferenças na herbivoria foliar ao compararmos o mês do brotamento (setembro) com os demais meses da estação chuvosa, mostrando que há um aumento da frequência de herbivoria após a transição da estação seca para a chuvosa. Apesar do nível médio de herbivoria foliar manter-se abaixo de 5%, a média da frequência aumentou de 3,7% em setembro para 9,3% de outubro a março. Sugerimos que essa mudança na frequência de folhas atacadas possa estar relacionada à maturação foliar ao longo da estação e ao aumento da abundância de herbívoros ocasionada pelo início das chuvas no fim de setembro (veja o anexo A e WOLDA, 1978). Em espécies arbóreas, a produção de folhas jovens possibilita a observação de mudanças “ontogenéticas” ao longo da estação e maturação foliar (KORICHEVA; BARTON, 2012). Em uma meta-análise conduzida por Koricheva e Barton (2012) que avaliou 94 espécies de plantas foi possível observar que a concentração de seis dos 11 compostos secundários avaliados era maior em folhas jovens se comparadas às folhas maduras. Apesar de existirem diferenças entre as espécies de diferentes regiões é possível sugerir que as sapucaias também apresentam mudanças nos parâmetros de defesa foliar contra a herbivoria ao longo da maturação. Outra possibilidade é a de que com a transição da estação seca para a chuvosa exista um aumento da abundância e atividade dos insetos ocasionada pelo aumento da ocorrência de chuvas (WOLDA, 1978), ocasionando uma maior frequência de folhas atacadas, como detectado em nosso estudo.

É importante considerar que apesar do presente estudo apresentar algumas limitações inerentes à coleta dos dados, os resultados obtidos nos permitiram detectar padrões interessantes que levantam uma nova hipótese para a presença da coloração da folha rosa, que pode atuar para além da defesa anti-herbivoria, e abre

oportunidades para futuras pesquisas. Estamos cientes que as plantas coletadas aqui, ao longo da paisagem urbana, sofrem influências de fatores regionais e antrópicos que podem afetar as populações de insetos e por consequência a herbivoria foliar encontrada nas sapucaias, uma vez que plantas urbanas estão expostas à poluição e altas temperaturas, que podem afetar seu desenvolvimento e interações com insetos (RAUPP; SHREWSBURY; HERMS, 2010). Adicionalmente, como a categorização das folhas foi realizada de maneira visual, a categoria “transição” agrupou folhas com padrões variados de coloração, o que pode ter resultado em uma heterogeneidade dos dados dentro desta categoria. Sugerimos que pesquisas futuras avaliem a hipótese de “*display* de atração de polinizadores”, que associa a cor foliar em sapucaias à estratégia reprodutiva. Por fim, nosso estudo detectou a necessidade de construir o perfil químico das folhas das sapucaias em diferentes estágios de coloração de maneira a entender a variação na quantidade e qualidade das defesas químicas ao longo da ontogenia foliar.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu a obtenção de dados relacionados à herbivoria foliar em sapucaias plantadas em um contexto urbano, levando em consideração a variação de coloração das folhas. Os resultados revelaram que desde o brotamento até o fim da estação chuvosa não existem mudanças nos níveis de herbivoria, entretanto ocorre um aumento e posterior estabilização da frequência de herbivoria após a mudança de cor, que coincide com o início da estação chuvosa, indicando que a cor foliar em sapucaias pode ter relação com a defesa contra herbivoria. Pesquisas futuras que avaliem a química foliar ao longo do tempo poderão elucidar se há uma relação entre a concentração de antocianina, pigmento foliar que confere a cor avermelhada, e os compostos de defesa anti-herbivoria em sapucaias. Uma lacuna que permanece é relacionada à hipótese de “anticamuflagem dos herbívoros” (LEV-YADUN et al., 2004), que pode ser testada através de experimentos com modelos artificiais de herbívoros (lagartas verdes e lagartas aposemáticas) colocadas em folhas de diferentes colorações. Por fim, sugerimos que seja avaliada em pesquisas futuras a nova hipótese de “*display* de atração de polinizadores”, que propõe que a cor foliar rosa em folhas jovens de sapucaias seja uma estratégia usada por essa planta para a atração de polinizadores no mês de floração.

REFERÊNCIAS

- BARTON, K. E.; EDWARDS, K. F.; KORICHEVA, J. Shifts in woody plant defence syndromes during leaf development. **Functional Ecology**, v. 33, n. 11, p. 2095–2104, nov. 2019.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, 2015.
- BAZZAZ, F. A. et al. Allocating Resources to Reproduction and Defense. **BioScience**, v. 37, n. 1, p. 58–67, jan. 1987.
- BERNAYS, E. A. Evolution of insect morphology in relation to plants. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 333, n. 1267, p. 257–264, 29 ago. 1991.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 2.
- CHEN, Y.; HUANG, Z.; TANG, L. Invisible red in young leaves: Anthocyanin likely plays a defensive role in some other way beyond visual warning. **Flora**, v. 280, jul. 2021.
- CHEN, Y.-Z.; HUANG, S.-Q. Red young leaves have less mechanical defence than green young leaves. **Oikos**, v. 122, n. 7, p. 1035–1041, jul. 2013.
- COLEY, P. D. Herbivory and Defensive Characteristics of Tree Species in a Lowland Tropical Forest. **Ecological Monographs**, v. 53, n. 2, p. 209–234, jun. 1983.
- COLEY, P. D.; AIDE, T. M. Red coloration of tropical young leaves: a possible antifungal defence? **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 3, p. 293–300, ago. 1989.
- COLEY, P. D.; KURSAR, T. A. Anti-Herbivore Defenses of Young Tropical Leaves: Physiological Constraints and Ecological Trade-offs. Em: MULKEY, S. S.; CHAZDON, R. L.; SMITH, A. P. (Eds.). **Tropical Forest Plant Ecophysiology**. Boston, MA: Springer US, 1996. p. 305–336.
- DE LA ROSA, L. A. et al. Phenolic Compounds. Em: **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 253–271.
- DOMINY, N. J. et al. Why are young leaves red? **Oikos**, v. 98, n. 1, p. 163–176, jul. 2002.
- FREITAS, R. **Ipês dão lugar a sibipirunas e sapucaias em BH na primavera: veja as árvores da estação. 2021**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/09/22/ipes-dao-lugar-a-sibipirunas-e-sapucaias-em-bh-na-primavera-veja-as-arvores-da-estacao.ghtml>>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- GONG, W.-C. et al. Why Are There so Many Plant Species That Transiently Flush Young Leaves Red in the Tropics? **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 83, 18 fev. 2020.
- HAMILTON, W. D.; BROWN, S. P. Autumn tree colours as a handicap signal.

Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, v. 268, n. 1475, p. 1489–1493, 22 jul. 2001.

HARE, J. D. How Insect Herbivores Drive the Evolution of Plants. **Science**, v. 338, n. 6103, p. 50–51, 5 out. 2012.

HOWE, G. A.; JANDER, G. Plant Immunity to Insect Herbivores. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 41–66, 1 jun. 2008.

HUGHES, N. M. et al. The same anthocyanins served four different ways: Insights into anthocyanin structure-function relationships from the wintergreen orchid, *Tipularia discolor*. **Plant Science**, v. 303, p. 110793, fev. 2021.

IBGE, - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arborização de vias públicas: IBGE, Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

IBGE, - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Tabela de dados das estações climáticas.** Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

KARAGEORGOU, P.; MANETAS, Y. The importance of being red when young: anthocyanins and the protection of young leaves of *Quercus coccifera* from insect herbivory and excess light. **Tree Physiology**, v. 26, n. 5, p. 613–621, 1 maio 2006.

KORICHEVA, J.; BARTON, K. E. Temporal changes in plant secondary metabolite production: patterns, causes and consequences. Em: IASON, G. R.; DICKE, M.; HARTLEY, S. E. (Eds.). **The Ecology of Plant Secondary Metabolites**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2012. p. 34–55.

KOZLOV, M. V. et al. Global patterns in background losses of woody plant foliage to insects: Latitudinal patterns in insect herbivory. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 10, p. 1126–1135, out. 2015a.

KOZLOV, M. V. et al. Background losses of woody plant foliage to insects show variable relationships with plant functional traits across the globe. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 6, p. 1519–1528, nov. 2015b.

KURSAR, T. A.; COLEY, P. D. Nitrogen Content and Expansion Rate of Young Leaves of Rain Forest Species: Implications for Herbivory. **Biotropica**, v. 23, n. 2, p. 141, jun. 1991.

KURSAR, T. A.; COLEY, P. D. Delayed Greening in Tropical Leaves: An Antiherbivore Defense? **Biotropica**, v. 24, n. 2, p. 256, jun. 1992.

LEV-YADUN, S. et al. Plant coloration undermines herbivorous insect camouflage. **BioEssays**, v. 26, n. 10, p. 1126–1130, out. 2004.

LORENZI, H. **Arvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992. v. 1

MANETAS, Y. Why some leaves are anthocyanic and why most anthocyanic leaves are red? **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 201, n. 3, p. 163–177, abr. 2006.

MASKATO, Y. et al. Red foliage color reliably indicates low host quality and increased metabolic load for development of an herbivorous insect. **Arthropod-Plant Interactions**, 31 maio 2014.

MENDES, G. M. et al. How much leaf area do insects eat? A data set of insect herbivory sampled globally with a standardized protocol. **Ecology**, v. 102, n. 4, abr. 2021.

MORI, S. A. Observações Sobre as Espécies de Lecythidaceae do Leste do Brasil. **Boletim de Botânica**, v. 14, p. 1–31, 25 jun. 1995.

MORI, S. A.; PRANCE, G. T.; ZEEUW, C. H. DE. Lecythidaceae, Part 2. The Zygomorphic-Flowered New World Genera (Couroupita, Corythophora, Bertholletia, Couratari, Eschweilera, & Lecythis), With a Study of Secondary Xylem of Neotropical Lecythidaceae. **Flora Neotropica**, v. 21, n. 2, p. 1–373, 1990.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167, 2013.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Temporada de floração dos ipês colore as ruas de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/temporada-de-floracao-dos-ipes-colore-ruas-de-belo-horizonte>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

RAUPP, M. J.; SHREWSBURY, P. M.; HERMS, D. A. Ecology of Herbivorous Arthropods in Urban Landscapes. **Annual Review of Entomology**, v. 55, n. 1, p. 19–38, 1 jan. 2010.

REHMAN, F.; KHAN, F. A.; BADRUDDIN, S. M. A. Role of Phenolics in Plant Defense Against Insect Herbivory. Em: KHEMANI, L. D.; SRIVASTAVA, M. M.; SRIVASTAVA, S. (Eds.). **Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 309–313.

RIBEIRO, M. et al. Flora of Espírito Santo: Lecythidaceae. **Rodriguésia**, v. 73, p. 1–26, 2022.

SCHOWALTER, T. D. **Insect ecology: an ecosystem approach**. 4th edition ed. Amsterdam San Diego: Elsevier, 2016.

SIMMONDS, M. S. J. Flavonoid–insect interactions: recent advances in our knowledge. **Phytochemistry**, v. 64, n. 1, p. 21–30, set. 2003.

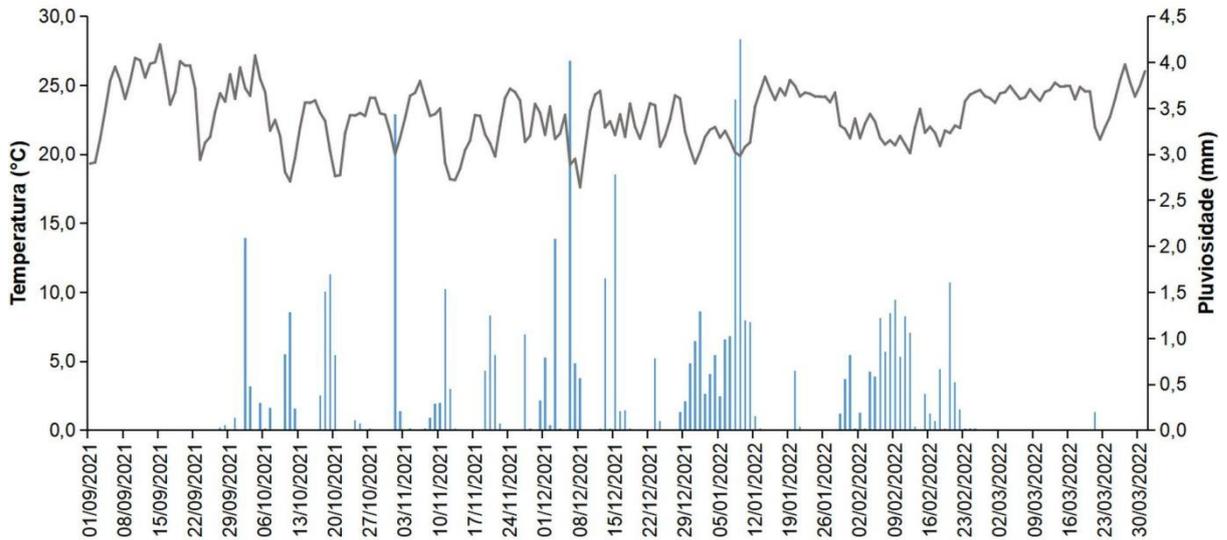
SINGH, S.; KAUR, I.; KARIYAT, R. The Multifunctional Roles of Polyphenols in Plant-Herbivore Interactions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 3, p. 1442, 1 fev. 2021.

TIMMINS, G. S.; HOLBROOK, N. M.; FEILD, T. S. Le rouge et le noir: Are anthocyanins plant melanins? Em: **Advances in Botanical Research**. [s.l.] Elsevier, 2002. v. 37p. 17–35.

VAN DER KOOI, C. J. et al. Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 66, n. 1, p. 435–461, 7 jan. 2021.

WOLDA, H. Seasonal Fluctuations in Rainfall, Food and Abundance of Tropical Insects. **The Journal of Animal Ecology**, v. 47, n. 2, p. 369, jun. 1978.

ANEXO A - Dados meteorológicos de temperatura (°C), linha preta, e pluviosidade (mm), barras azuis, obtidas da estação A521 - Pampulha em Belo Horizonte, através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período selecionado é de 1-09-2021 à 31-03-2022, período no qual ocorreram as coletas do presente estudo.



ANEXO B - Herbivoria encontrada nas folhas das sapucaias de Belo Horizonte, MG, Brasil. Fotografias a-d: herbivoria por insetos mastigadores; e-f: herbivoria por insetos minadores; g-h: herbivoria por insetos raspadores. Fotografias do acervo pessoal da autora.





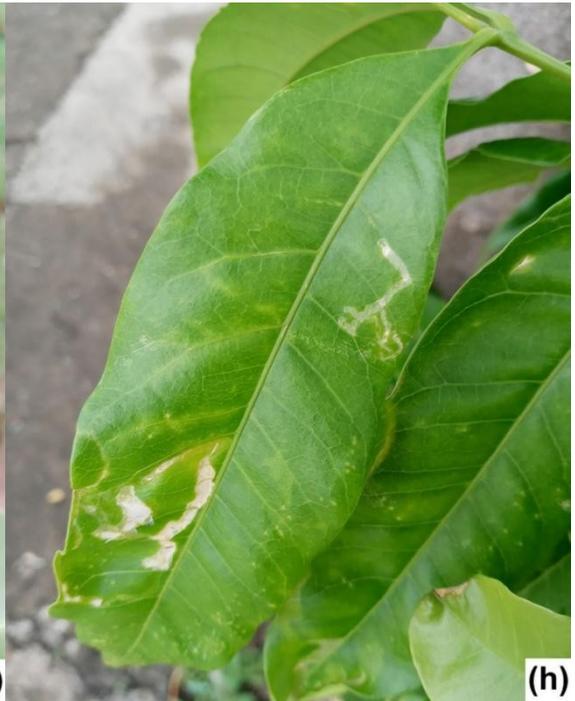
(e)



(f)



(g)



(h)

ANEXO C - Fotografias dos insetos encontrados durante a coleta de folhas nas sapucaias de Belo Horizonte, MG, Brasil. Fotografia de insetos das ordens Hemiptera (a-c), Hymenoptera (c) e Lepidoptera (d). Fotografias do acervo pessoal da autora.

