



JOSÉ MAGNO DAS CHAGAS JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DO PARASITISMO DE
PSITTACANTHUS ROBUSTUS (MART.) MART.
NOS PADRÕES POPULACIONAIS E
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE *VOCHYSIA*
THYRSOIDEA POHL.**

LAVRAS - MG

2013

JOSÉ MAGNO DAS CHAGAS JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DO PARASITISMO DE *PSITTACANTHUS ROBUSTUS*
(MART.) MART. NOS PADRÕES POPULACIONAIS E RESPOSTAS
FISIOLÓGICAS DE *VOCHYSIA THYRSOIDEA* POHL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Eduardo van den Berg

Coorientador

Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Chagas Júnior, José Magno das.

Influência do parasitismo de *Psittacanthus robustus* (Mart.)
Mart. nos padrões populacionais e respostas fisiológicas de *Vochysia*
thyrsoidea Pohl / José Magno das Chagas Júnior. – Lavras : UFLA,
2013.

51 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Eduardo van den Berg.

Bibliografia.

1. Parasitismo vegetal. 2. *Vochysia*. 3. Ecofisiologia. 4. Cerrado.
5. Hemiparasitas. 6. Erva-de-passarinho. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 574.5249

JOSÉ MAGNO DAS CHAGAS JUNIOR

**INFLUÊNCIA DO PARASITISMO DE *PSITTACANTHUS ROBUSTUS*
(MART.) MART. NOS PADRÕES POPULACIONAIS E RESPOSTAS
FISIOLÓGICAS DE *VOCHYSIA THYRSOIDEA* POHL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de julho de 2013.

Dr. Gustavo Habermann Unesp/Rio Claro

Dra. Flávia de Freitas Coelho UFLA

Dr. Eduardo van den Berg

Orientador

LAVRAS –MG

2013

Dedico este trabalho aos meus pais José Magno e Maria Aparecida, e ao meu irmão, Davi, que tanto me incentivam e apoiam a buscar meu engrandecimento profissional, sempre abraçando-me e encorajando-me nos momentos difíceis e participando com carinho e alegria em todas as minhas vitórias.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

“(…) Em tudo dai graças, porque essa é a vontade de Deus em Cristo Jesus para Convosco.” – *Tessalonicenses, 5:18*.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que é fonte de vida, que me ampara e ilumina. No qual sempre busco forças para nunca desistir diante das dificuldades e a quem sempre me dirijo em agradecimento, após cada vitória em minha vida. Obrigado, Senhor!!!

Agradeço aos meus familiares, que sempre me apoiam em minhas escolhas, especialmente aos meus pais e irmão, que estão sempre orientando-me, com palavras amigas e encorajadoras. Obrigado, pai, mãe e Davi, pelo amor e compreensão de vocês e pelo exemplo de pessoas que vocês são para mim!

Aos meus tios e tias, primos e primas, também agradeço por estarem sempre torcendo pelo meu sucesso, acompanhando-me em cada passo que dou na minha vida. Obrigado pelo carinho e orações de todos!

À minha querida avó Ana, minha segunda mãe, que ajudou a educar-me e sempre tratou-me com muito carinho e amor. Obrigado vó, por estar sempre em oração, pedindo a Deus proteção para mim e para toda a família.

À minha namorada, Fernanda, obrigado pelo carinho e compreensão, sempre apoiando-me e incentivando-me, principalmente nos momentos de dificuldade.

A todos aos meus amigos, que, de modo geral, sempre me incentivam a buscar meu engrandecimento profissional, o que, às vezes, me leva a ficar um pouco distante, mas jamais esqueço de nenhum de vocês. Ao meu grande amigo, Marinho, que sempre me incentivou a voltar para Lavras e fazer o mestrado em Ecologia. Valeu, Marimba, se tenho este título, grande parte foi pela sua boa insistência comigo e pelos conselhos que me deu!!! Ao meu novo grande amigo e irmão, Lucas, com quem compartilhei dois ótimos anos de convivência em

república e no dia a dia do nosso curso!

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Vegetal, que sempre me trataram com muito carinho; obrigado pela colaboração de cada um de vocês, sem a qual eu não teria realizado este trabalho. Flávia, Renato, Charles, que me acompanharam em quase todos os trabalhos de campo, principalmente naqueles em que passamos a madrugada em claro. Muito obrigado mesmo! João, Carol e Vilany, obrigado pelos conselhos valiosos, não apenas para este trabalho, mas para minha vida, e valeu pela ajuda em campo também! Evelyn, minha querida amiga, dos tempos de graduação, nem sei como agradecer pela grandiosa ajuda que meu deu com a “bendita” estatística. Um simples obrigado para você é pouco! Que Deus lhe abençoe sempre! Gabi, obrigado pela convivência agradável e pelos conselhos sempre de grande valia! Dr. Hisaiás, valeu pela ajuda nos momentos de aperto, pelos conselhos, ideias e pelo convívio sempre muito agradável e bem-humorado. Você é um exemplo de pesquisador e de pessoa, pela determinação e humildade, sempre ajudando todo mundo com a maior paciência e prestatividade!!

Aos colegas que não eram do laboratório, mas que também ajudaram em campo: Marcos, Jaiane, Raíssa e Mariana, obrigado pela colaboração em campo! Carolzinha, amiga dos tempos de graduação, obrigado por ser sempre tão prestativa, ajudando-me em todos os momentos que precisei, seja em campo, ou seja com ideias!

Ao pessoal do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, em especial Joana e Marcelo, muito obrigado por compartilharem o aprendizado comigo! Obrigado pela prestatividade que sempre demonstraram comigo, ao me ensinarem a utilizar os aparelhos!

À turma de mestrado e doutorado, valeu pelo convívio e pelo aprendizado em conjunto!

Grazi, você, que foi a precursora deste trabalho, muito obrigado pela

valiosa colaboração em ceder os dados. Tenho em você outro exemplo de pesquisadora, pelo seu empenho e dedicação. Obrigado por tudo!

Ao meu orientador, Eduardo, obrigado pela oportunidade concedida e pelo empenho em garantir as condições necessárias para a realização deste trabalho, além dos conselhos valiosíssimos. Ao meu coorientador, João Paulo, muito obrigado por toda ajuda, pela paciência em me ensinar cada procedimento, pelos conselhos e pelas conversas iluminadoras!!!

À FAPEMIG, agradeço pela concessão da bolsa e ao CNPq e Capes, pelos recursos disponibilizados ao Laboratório de Ecologia Vegetal, em especial à “Jurema”, sem a qual seria impossível realizar os trabalhos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, agradeço pela oportunidade e pelo curso, que foram de grande valia para meu enriquecimento profissional. Aos professores do programa, agradeço profundamente pelos ensinamentos!

À UFLA, agradeço pela estrutura disponibilizada para a realização do curso e por ser a casa da minha formação profissional, proporcionando-me conhecer pessoas muito especiais e lugares inesquecíveis.

RESUMO

No presente estudo buscaram-se respostas no campo da ecofisiologia para compreender melhor a relação de parasitismo entre as espécies *Psittacanthus robustus* e *Vochysia thyrsoidea*. Verificaram-se quais foram os principais parâmetros fisiológicos afetados por tal relação. Foram comparadas as respostas fisiológicas relacionadas à eficiência fotossintética, ao estado hídrico e à senescência foliar entre plantas parasitadas e não parasitadas. Além disso, por meio de um modelo linear generalizado, foram classificadas as principais variáveis dessa relação que influenciam a mortalidade de *V. thyrsoidea*. Os estudos foram conduzidos em uma área de Cerrado Rupestre, no município de Carrancas, no sul de Minas Gerais. Entre os principais resultados, foi observado que a mortalidade está mais relacionada com a altura da hospedeira e o número de parasitas. Observou-se que árvores mais altas têm maior probabilidade de sobrevivência e que quanto maior o número de parasitas, menor a chance de a hospedeira sobreviver. Verificou-se que a eficiência fotossintética e o estado hídrico foram influenciados pelo parasitismo e que a senescência não, apesar de ter-se constatado que ramos parasitados estavam frequentemente desfolhados. Desse modo, o presente estudo foi de suma importância para ampliar os conhecimentos a respeito da relação de parasitismo entre as referidas espécies. O estudo possibilitou compreender quando o parasitismo é capaz de levar a hospedeira à morte e quais os parâmetros fisiológicos mais afetados pela presença do parasita. No entanto, ainda são necessários novos estudos, com objetivos mais específicos, para a complementação das respostas deste trabalho.

Palavras-chave: Parasitismo. *Vochysia*. Ecofisiologia. Cerrado.

ABSTRACT

This study sought answers in the field of Ecophysiology to better understand the parasitism relationship between the species *Psittacanthus robustus* and *Vochysia thyrsoidea*. It was possible to verify which were the main physiological parameters affected by this relationship. The physiological responses related to photosynthetic efficiency, as well as water status and leaf senescence between parasitized and non-parasitized plants, were compared. Furthermore, through a generalized linear model, the key variables of this relationship that influence the mortality of *V. thyrsoidea* were classified. The studies were conducted in a Cerrado Rupestre area, in the municipality of Carrancas, in the south of Minas Gerais. Among the main results, it was observed that mortality is more related to host height and number of parasites. It was possible to observe that higher trees are more likely to survive, and the higher the number of parasites, the lower the chance of host survival. It was found that photosynthetic efficiency and water status were influenced by parasitism and senescence was not, although it was verified that parasitized branches were often bare. Thus, the present study was of paramount importance to increase knowledge about the parasitism relationship between those species. The study allowed to understand when parasitism can lead the host to death and which physiological parameters are most affected by the presence of the parasite. However, further studies are still required, with more specific goals, for the completion of the answers of this study.

Keywords: Parasitism. *Vochysia*. Ecophysiology. Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Áreas de estudo: Carrancas-Zilda (CZ), localizada no município de Carrancas e o Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito (PEQRB), situado no município de Lavras.....	21
Figura 2	Correlação existente entre o número de parasitas, altura e a probabilidade de sobrevivência dos hospedeiros.....	29
Figura 3	Comparação da Taxa Fotossintética entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	30
Figura 4	Comparação do NDVI entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	31
Figura 5	Comparação do PRI entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	31
Figura 6	Comparação da taxa de Carbono Interno (Ci) entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	32
Figura 7	Comparação das taxas de Eficiência do Uso da Água entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	32
Figura 8	Comparação das taxas de Condutância Estomática entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	33
Figura 9	Comparação das taxas de Transpiração entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	33
Figura 10	Comparação do Potencial Hídrico (dado em MPa) na madrugada entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	34
Figura 11	Comparação do Potencial Hídrico (dado em MPa) na madrugada entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	34
Figura 12	Comparação do Potencial Hídrico (dado em MPa) ao meio-dia, entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	35
Figura 13	Comparação do índice de amarelecimento (Yi) entre indivíduos parasitados e não parasitados.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.1	Área de Estudo.....	20
2.2	Espécies Estudadas.....	22
2.3	O efeito do parasitismo na mortalidade de <i>V. thyrsoidea</i>.....	23
2.4	A influência do parasita nas respostas fisiológicas de <i>V. thyrsoidea</i>.....	24
2.4.1	Trocas gasosas e potencial hídrico foliar.....	25
2.4.2	Espectro de reflectância foliar e índices indicadores fisiológicos..	25
2.4.3	Análises estatísticas.....	26
3	RESULTADOS.....	28
3.1	O efeito do parasitismo na mortalidade de <i>V. thyrsoidea</i>.....	28
3.2	A influência do parasitismo nas respostas fisiológicas de <i>V. thyrsoidea</i>.....	29
4	DISCUSSÃO.....	36
4.1	O efeito do parasitismo na mortalidade de <i>V. thyrsoidea</i>.....	36
4.2	A influência do parasitismo nas respostas fisiológicas de <i>V. thyrsoidea</i>.....	37
5	CONCLUSÕES.....	44
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

O parasitismo é considerado uma relação interespecífica, na qual a espécie parasita completa todo ou parte do seu ciclo de vida associado a uma outra espécie, denominada hospedeira (Norton e Carpenter 1998). O efeito do parasitismo pode variar desde um desenvolvimento anormal, com danos consideráveis para a espécie hospedeira, até a uma ausência de sintomas visíveis e uma convivência por longos anos entre os dois elementos da relação, resultante de um processo de coevolução (SCHULZE e EHLERINGER, 1984; STEWART e PRESS, 1990).

Ao considerar somente o parasitismo vegetal, existem dois tipos básicos dessa interação: hemiparasitismo e holoparasitismo. O primeiro é quando a espécie parasita desenvolve estruturas clorofiladas em sua parte aérea, conseguindo sintetizar sua própria seiva elaborada. Dessa forma, ela retira da sua hospedeira somente água e sais minerais. O holoparasitismo é quando o parasita depende totalmente da sua hospedeira. Nesse caso, ocorre a retirada tanto de água e sais minerais como dos produtos provenientes da fotossíntese, uma vez que o parasita não desenvolve estruturas clorofiladas (GLATZEL e GEILS, 2009).

No presente trabalho concentrou-se no grupo dos hemiparasitas, o qual apresenta pelo menos sete famílias nos neotrópicos, sendo a principal delas, por ser a mais rica em espécies, a família Loranthaceae (Wellman 1964). Outras famílias que se destacam são Convolvulaceae, Lauraceae, que assim como Loranthaceae, parasitam a parte aérea das plantas hospedeiras e Balanophoraceae e Rafflesiaceae que, parasitam as raízes (WELLMAN, 1964). Ainda se destacam a família Santalaceae, que pode se estabelecer tanto no caule como na raiz, sendo considerada de importância econômica, por parasitarem coníferas e Scrophulariaceae, que atualmente se encontra na ordem Lamiales e

apresenta somente espécies autotróficas (WELLMAN, 1964; JUDD et al. 2009).

A associação entre a hemiparasita e sua hospedeira, geralmente uma árvore ou arbusto, ocorre por meio de uma raiz modificada, denominada haustório, que permite a sua fixação nos galhos e a penetração até o xilema, para retirar a água e os nutrientes, formando uma união complexa com o tecido vascular (KUIJT, 1969; NICKRENT, 2002; CALVIN e WILSON, 2006). O haustório é constituído de uma parte superior, os discos adesivos, e o endófito, que é a parte que adentra pelo tecido da planta hospedeira (KUIJT, 1977). A conexão ocorre primeiramente pela forte adesão da parte superior à superfície da hospedeira, permitindo a invasão do endófito até o tecido vascular (RIOPEL e TIMKO, 1995). Em alguns estudos, observou-se que nem sempre essa associação ocorre com sucesso, pois os haustórios não conseguem fazer uma ligação funcional com a hospedeira, inviabilizando o processo de fixação e estabelecimento (BAIRD e RIOPEL, 1983.; LEE e LEE, 1989).

A fixação e o estabelecimento do hemiparasita em sua hospedeira são afetados por alguns fatores, como o sombreamento que uma exerce sobre a outra, na busca pela luz, assim como a disputa pela água e nutrientes para a realização da fotossíntese (Glatzel & Geils 2009). Além disso, ainda existem as pressões ambientais que levam as quase 1300 espécies desse grupo a apresentarem uma grande variedade de formas e mecanismos fisiológicos. Por ocuparem tanto regiões temperadas quanto tropicais, os hemiparasitas podem assumir desde formas ínfimas, chegando a medir até quatro milímetros nas regiões temperadas, até formas mais imponentes, que superam os dois metros em regiões tropicais, como é o caso da espécie deste estudo (GLATZEL e GEILS, 2009). Um outro exemplo dessa variação pode ser observado nos tamanhos e aspectos morfológicos das sementes. Essa variação possibilita diferentes tipos de dispersão, existindo sementes viscosas, que são dispersas por aves (comum na família Loranthaceae), sementes menores, que são carregadas

pelo vento (Misodendraceae) e outras que são projetadas por uma explosão hidráulica (*Arceuthobium* - Santalaceae) (GLATZEL e GEILS, 2009).

A dispersão das sementes é muito importante para a perpetuação da erva-de-passarinho, uma vez que a conexão entre parasita e hospedeira só será bem-sucedida se a semente alcançar um galho suscetível as parasita (MONTEIRO et al. 1992,; SARGENT, 1995). Em geral, o diâmetro dos ramos da hospedeira não altera significativamente esses processos (LADLEY e KELLY, 1996). Entretanto, em outros casos, observa-se que ramos com menores diâmetros são os mais suscetíveis à infestação, pelo fato de proporcionarem uma melhor condição para o estabelecimento, ao apresentarem uma camada de súber menos espessa, facilitando a conexão com o haustório (NORTON e LADLEY, 1998).

Em alguns trabalhos, consideram-se ainda a idade e o tamanho das hospedeiras, características importantes para o nível de infestação pela erva-de-passarinho, ocorrendo geralmente um maior número de parasitas em indivíduos hospedeiros mais velhos e, conseqüentemente, mais altos, uma vez que estão expostos há mais tempo à infestação (MARTÍNEZ-del-RIO et al. 1995,; BANNISTER e STRONG 2001,; ROXBURGH e NICOLSON 2008,; TEODORO et al. 2010). Além disso, já foi observado que a preferência não somente pelos indivíduos mais altos, mas também pela parte superior da copa é devida ao comportamento da espécie dispersora (MONTEIRO et al. 1992,; TEODORO et al. 2010). Teodoro e colaboradores (2010) ainda apontaram que, no caso de *V. thyrsoides*, uma árvore típica do cerrado, o conseqüente distanciamento do solo proporcionado pelos indivíduos mais altos aumentam as chances de sobrevivência dos parasitas durante os eventuais incêndios que ocorrem nesse hábitat.

Esse sucesso de estabelecimento também depende muito da relação da erva-de-passarinho com a hospedeira, sendo essa relação considerada um fator

limitante, visto que alguns fatores, como disponibilidade, qualidade e resistência da hospedeira à parasita, são determinantes para que ocorra uma coexistência de ambas espécies. (MARVIER e SMITH, 1997). No que diz respeito à qualidade do hospedeiro, os autores indicam que plantas perenes, gramíneas e leguminosas são consideradas hospedeiras preferenciais ou de alta qualidade.

As hemiparasitas podem prejudicar a planta hospedeira em seu crescimento, reprodução, forma e fisiologia. De um ponto de vista mais abrangente, o parasitismo também pode afetar a ecologia da comunidade vegetal, tanto como oferta de alimento para a avifauna, quanto colaborando para a dinâmica da comunidade, ao levar suas respectivas hospedeiras à morte ou, pelo menos, reduzindo a sua competitividade na comunidade (HOWELL e MATHIASSEN, 2004). Alguns pesquisadores mostram que os hemiparasitas apresentam uma taxa de transpiração mais elevada que a da suas hospedeiras, o que estabelece um gradiente no potencial hídrico foliar favorável à parasita, direcionando a esta o fluxo de água e nutrientes (Ullman *et al.* 1985, Stewart & Press 1990). Ullman e colaboradores (1985) ainda sugeriram que as hemiparasitas não exercem um controle estomático muito eficaz para a perda de água, mesmo quando em condição de estresse hídrico severo, o que ajuda a garantir esse direcionamento do fluxo de nutrientes para a hemiparasita.

A eficiência fotossintética é um dos parâmetros fisiológicos muito afetados pelo parasitismo. Alguns estudos mostram que o parasitismo interfere negativamente na eficiência fotossintética da hospedeira (WATLING e PRESS, 2000; CAMERON e al., 2005). No estudo de Cameron e colaboradores (2005), foi demonstrado que o parasita exerce efeitos diretos e indiretos sobre o processo fotossintético da planta hospedeira. No referido estudo, foi observado que o rendimento do Fotossistema 2 era inferior em plantas parasitadas. Em um outro estudo, Cameron e colaboradores (2008) demonstraram que o conteúdo de clorofila era menor em plantas parasitadas, o que afetava a suas atividade

fotossintética. Ainda com relação à eficiência fotossintética, Logan e colaboradores (2013) demonstraram que as plantas parasitadas apresentavam uma menor eficiência no uso da água, índice diretamente relacionado à eficiência fotossintética.

Um outro parâmetro fisiológico que é afetado pelo parasitismo é o estado hídrico. A maioria dos estudos mostra que o parasitismo leva a uma maior perda de água por parte das hospedeiras, pelo fato da espécie parasita apresentar altas taxas de transpiração e um baixo controle estomático (KNUSTON, 1983; STEWART e PRESS, 1990; ESCHER et al., 2008). De acordo com esses estudos, em decorrência das altas taxas de transpiração dos parasitas e do baixo controle estomático, as plantas parasitadas normalmente apresentam um menor potencial hídrico, quando comparadas com as não parasitadas. Ullman e colaboradores (1985) mostraram em seu estudo que há um direcionamento do fluxo de água da planta hospedeira para o parasita, por conta de seu baixo controle estomático. Com relação à transpiração, Zweifel e colaboradores (2012) demonstraram em seu estudo que as plantas parasitadas perdem mais água pela transpirando do que as não parasitadas.

A interferência do parasitismo na fisiologia da planta hospedeira chega a afetar até o processo de senescência da planta. Alguns estudos mostram que plantas parasitadas apresentam uma antecipação no processo de desfolhamento (BARBU, 2012), enquanto outros apresentaram o oposto, nos quais as plantas parasitadas tiveram seu processo de senescência atrasado devido a alterações hormonais induzidas pelo hemiparasita (LOGAN et al., 2013). Alterações hormonais induzidas pelo parasitismo que interferiram no processo de senescência também já foram relatadas por alguns autores (Taylor *et al*, 1996; Frost *et al*, 1998). Nesses estudos, foi demonstrado que o processo de senescência é antecipado nas plantas parasitadas, pelo fato de o parasita induzir uma maior produção de ácido abscísico (ABA) nessas plantas.

A relação de parasitismo entre as espécies *P. robustus* e *V. thyrsoides* já vem sendo estudada no âmbito ecológico dessa interação. Teodoro e colaboradores (2010) avaliaram a estrutura populacional e o padrão de parasitismo de *P. robustus* em *V. thyrsoides*, em três áreas diferentes. Neste estudo, objetivou-se encontrar padrões gerais sobre as plantas hemiparasitas, bem como avaliar a dinâmica da erva-de-passarinho e de sua hospedeira. Entre as principais respostas encontradas por Teodoro e colaboradores (2010), está a preferência pela espécie parasita de infestar indivíduos hospedeiros mais altos, o que corrobora os estudos citados anteriormente (MARTÍNEZ-del-RIO et al. 1995,; BANNISTER e STRONG 2001,; ROXBURGH e NICOLSON, 2008). Outra observação interessante de Teodoro e colaboradores (2010) foi a de que *P. robustus* é sensível ao fogo, sendo notado que o número de indivíduos variou entre as áreas que pegaram fogo antes do estudo e a área isenta dos incêndios. Em um outro estudo de Teodoro e colaboradores (2013), foi verificado que as ervas-de-passarinho podem ser modeladas como uma metapopulação. Neste trabalho, os autores avaliaram a dinâmica populacional de *P. robustus* em três áreas de Cerrado no sudeste do Brasil. O estudo mostrou a influência que o fogo exerce na dinâmica das ervas-de-passarinho e, conseqüentemente, também na população de *V. thyrsoides*. Os pesquisadores verificaram que a maior mortalidade de *P. robustus* estava associada às áreas que sofreram queimadas. Além disso, notaram ainda que a única área isenta de fogo apresentou uma maior quantidade de plantas infestadas e uma maior mortalidade de *V. thyrsoides* associadas ao parasita. A partir desses resultados, comprovou-se que a dinâmica populacional da hospedeira, que é resistente ao fogo, foi controlada pela presença do hemiparasita, que, por sua vez, tem sua população regulada por eventos de queimadas.

Com base nesses estudos prévios, surgiram mais perguntas sobre essa interação. Com relação a dinâmica populacional, sabe-se de maneira qualitativa

que a mortalidade de *V. thyrsoidea* está associada à infestação por *P. robustus*. No entanto, ainda ficam dúvidas se é de fato o parasitismo que leva as hospedeiras à morte, uma vez que é possível observar a convivência de ambas as espécies quando a quantidade de indivíduos parasitos por hospedeira é pequena. Ainda assim, mesmo que tal interação não seja a verdadeira responsável pela mortalidade de *V. thyrsoidea*, é provável que, no mínimo seu rendimento fisiológico seja afetado pelos parasitas. Com base em observações feitas em campo previamente, notou-se que a interação poderia modificar processos fisiológicos vitais da hospedeira, como a senescência foliar e a taxa fotossintética. Contudo, tais suspeitas são fracamente amparadas devido à carência na literatura de estudos voltados aos aspectos ecofisiológicos sobre essa relação.

Dessa forma, no presente trabalho, procurou-se investigar como o parasitismo afeta a hospedeira em termos de fisiologia, e também procurou ampliar as análises com relação à sua mortalidade associada ao parasitismo. Assim sendo, o objetivo principal foi avaliar se o parasitismo exerceu uma influência significativa sobre as respostas fisiológicas de *V. thyrsoidea*, visando a entender melhor as consequências dessa interação sobre sua sobrevivência. A partir desse objetivo central, procurou-se também avaliar a interferência do parasitismo em parâmetros fisiológicos, como a capacidade fotossintética e o estado hídrico das plantas, e ainda se o parasitismo foi capaz de antecipar a senescência foliar na hospedeira.

Em vista desses objetivos, estabeleceram as seguintes hipóteses:

- I. A mortalidade de *V. thyrsoidea* é maior para os indivíduos mais infestados, visto que é possível observar a convivência de ambas as espécies em indivíduos menos infestados por um longo tempo, apesar de ter-se comprovado na literatura que a mortalidade está associada

ao parasitismo;

- II. A eficiência fotossintética é inferior em indivíduos parasitados, considerando que o parasita remove parte dos recursos captados pelo hospedeiro (água e nutrientes), interferindo na sua atividade fotossintética;
- III. Indivíduos parasitados apresentam menores valores para o potencial hídrico, haja vista que os indivíduos da espécie parasita apresentam um menor controle estomático, resultando em um maior dispêndio da água captada pela hospedeira;
- IV. O parasitismo antecipa a senescência foliar, uma vez que se tal interação for responsável pelo aumento da taxa de mortalidade, ela também pode acarretar alterações no processo de senescência da planta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas de cerrado, localizadas no sul do estado de Minas Gerais. Essas áreas foram utilizadas nos estudos já citados anteriormente de Teodoro e colaboradores (2010 e 2013). No entanto, o presente estudo utilizou duas das três áreas citadas nos referidos trabalhos, sendo uma das áreas localizadas no município de Lavras, MG e a outra no município de Carrancas, MG (Figura 1).

Em Lavras, a área encontra-se dentro do Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito (PEQRB), que abrange uma vegetação do tipo Cerrado Rupestre, com predomínio da espécie estudada, *V. thyrsoidea*. As coordenadas centrais da área são 21°19'43.87" S e 44°58'23.43" W e a altitude varia de 1024 a 1064m. O referido parque está inserido na Serra do Carrapato, que faz parte do Complexo da Bocaina. O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre Cwb e Cwa, ou seja, temperado com invernos secos, com precipitação média anual de 1.529,7 mm e temperatura média anual de 19,4°C (FARIA, 1999). Essa área pode ser considerada a mais preservada, pelo fato de estar em uma unidade de conservação, a qual apresenta cinco principais fisionomias (floresta, cerrado, campo rupestre, campo de altitude e candeal), sendo considerada uma amostra valiosa da vegetação primitiva da região do Alto Rio Grande, abrigando uma notável diversidade de espécies (OLIVEIRA-FILHO e FLUMINHAN-FILHO, 1999). No entanto, no segundo semestre de 2011, a área foi afetada por um incêndio, o qual atingiu mais de 50% da população de *V. thyrsoidea*, inviabilizando esta área para os estudos de ecofisiologia. Dessa forma, essa área foi utilizada somente para avaliar a influência do parasitismo na mortalidade de indivíduos de *V. thyrsoidea*

parasitados.

A outra área, localizada no município de Carrancas, foi Carrancas-Zilda (CZ), cujas coordenadas centrais são $21^{\circ}28'16''\text{S}$ e $44^{\circ}37'21''\text{W}$, na qual se observou como fitofisionomia o Cerrado Senso Stricto, e que também apresentava o predomínio da espécie arbórea *Vochysia thyrsoidea*. A área possui altitudes que se aproximam-se de 1220 m no local de estudo. O clima dominante para o município, segundo a classificação de Köppen, é o Cwa, com temperatura média anual de $14,8^{\circ}\text{C}$ e precipitação média anual de 1483 mm (CARVALHO, 1992). A área CZ também sofreu queimada em meados do ano 2008, o qual foi relatada no estudo de Teodoro e colaboradores (2010, 2013), e que provavelmente pode ter influenciado os dados da dinâmica realizada na ocasião. No entanto, essa área foi a mais propícia para o presente estudo de ecofisiologia, pelo fato de já ter transcorrido tempo suficiente para recuperar-se dos danos causados pelo incêndio.



Figura 1 Áreas de estudo. A área Carrancas-Zilda (CZ) localiza-se no município de Carrancas e a área do Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito (PEQRB) situa-se no município de Lavras.

2.2 Espécies Estudadas

As espécies abordadas neste trabalho também foram as mesmas estudadas por Teodoro e colaboradores (2010 e 2013). A primeira é a espécie arbórea *Vochysia thyrsoidea* Pohl, da família Vochysiaceae, característica do Cerrado e que apresenta o caule com uma casca grossa, ritidoma com fissuras e cristas descontínuas e sinuosas. Essa espécie apresenta a capacidade de acumular o alumínio, conferindo, assim, uma vantagem competitiva a essas plantas no ambiente de Cerrado (FELFILI e SILVA Jr., 1992). A família possui distribuição neotropical, sendo considerada uma das principais famílias de plantas do Cerrado, destacando-se os gêneros *Qualea* e *Vochysia* (SOUZA e LORENZI, 2008). De acordo com Lorenzi (2002), *Vochysia thyrsoidea* é uma espécie exclusiva dos Cerrados e Campos Cerrados de altitude, apresentando-se como uma planta perenifólia, heliófita e ocorrendo geralmente em terrenos pedregosos, em altitudes que variam de 800 a 1000 m, tendo o vento como o principal agente dispersor das suas sementes.

A outra espécie é *Psittacanthus robustus* Mart. (Loranthaceae), uma hemiparasita Neotropical que coloniza principalmente espécies de Vochysiaceae em Cerrados brasileiros (MONTEIRO et al., 1992). As sementes dessa espécie apresentam uma substância mucilaginosa na sua região apical, o que facilita sua aderência na superfície dos ramos da espécie hospedeira, contribuindo para sua fixação (MONTEIRO et al., 1992). O táxon está inserido na família Loranthaceae, que apresenta distribuição pantropical, ocorrendo no Brasil cerca de 100 espécies (SOUZA e LORENZI, 2008). A maioria das espécies são parasitas de caule, com raízes modificadas formando o haustório. Em geral, apresentam flores pouco vistosas, no entanto, tais estruturas são bastante conspícuas nas espécies pertencentes ao gênero *Psittacanthus*. As flores da espécie utilizada neste estudo são dotadas de grandes dimensões e uma

coloração amarelo-ouro muito chamativa, que lhes dão destaque em meio à vegetação (SOUZA e LORENZI, 2008).

2.3 O efeito do parasitismo na mortalidade de *V. thyrsoidea*

Os dados utilizados para analisar o efeito do parasitismo na mortalidade de *V. thyrsoidea* foram gentilmente cedidos por Teodoro e colaboradores (2013), a partir de seus inventários realizados entre os anos de 2007 e 2009, em três áreas de Cerrado. Foram utilizados os dados de apenas uma das três áreas estudadas pelos autores, visto que objetivou-se no presente trabalho evidenciar o efeito do parasitismo, foi preciso isolar outros fatores que influenciassem a mortalidade de *V. thyrsoidea*. Como visto, o fogo exerce uma forte influência sobre a dinâmica populacional de *V. thyrsoidea*, e como duas das áreas utilizadas foram afetadas por incêndios durante o período dos inventários, optou-se por utilizar somente os dados da área não afetada. Dessa forma, a área do PEQRB foi a que apresentou as melhores condições para se obter esses dados, pois além de ter ficado isenta dos incêndios, ela também apresentava um elevado número de plantas parasitadas. As outras duas áreas, Carrancas-Esmeralda e Carrancas-Zilda, foram acometidas por incêndios antes e durante o período de coletas, respectivamente, inviabilizando-as para este estudo.

Para determinar o efeito do parasitismo, portanto, foram realizadas análises utilizando modelos lineares generalizados (MLG), já que a variável resposta (mortalidade) possuía distribuição de probabilidade Binomial. Foram testadas as seguintes variáveis: altura da hospedeira (m), CAP (cm) da hospedeira, área da copa da parasita (m) e número de parasitas. No modelo final, permaneceram apenas as variáveis explicativas significativas ($p \leq 0.05$) e sua adequação foi testada utilizando o teste de qui-quadrado de Pearson. Utilizaram-se o software R e o pacote RMS (Harrel JR, 2013), o qual permite o cálculo de

um coeficiente de determinação (R^2) para regressões logísticas.

2.4 A influência do parasita nas respostas fisiológicas de *V. thyrsoidea*

Foram realizadas avaliações de espectro de reflectância e das características morfofisiológicas foliares. Para tais avaliações, foram utilizados os seguintes instrumentos: LCA4 (ADC Instruments), bomba de pressão (PMS Instruments -Plant Moisture - Modelo 1000) e o espectroradiômetro portátil USB-850 RED TIDE. As medidas foram tomadas sempre dos mesmos indivíduos, e em uma única área, sendo realizada uma amostragem na estação seca (agosto) e outra na estação chuvosa (novembro).

A partir do histórico das áreas, decidiu-se conduzir os estudos de ecofisiologia somente na área Carrancas-Zilda. Nessa área, foi observada uma maior quantidade de plantas parasitadas, e com uma razão indivíduos de parasitas por hospedeira mais equitativa. Isso favorece a obtenção de medidas mais confiáveis quanto à influência que o parasitismo exerce sobre os parâmetros fisiológicos de *V. thyrsoidea*. Além disso, essa área já estava há mais de três anos sem sofrer um incêndio, o que provavelmente excluiu qualquer influência desse fator nos dados fisiológicos.

Foram amostradas 15 plantas parasitadas e 15 não parasitadas. Em cada indivíduo, as medidas foram realizadas em quatro folhas, totalizando 60 folhas de indivíduos não parasitados (controle) e 60 de indivíduos parasitados. As folhas foram padronizadas, estando sempre em estado maduro, completamente expandidas, expostas ao sol no momento da medida e sem vestígios de injúrias por pragas ou patógenos.

Devido à dificuldade de acessar as folhas a serem medidas, sem removê-las do indivíduo, foi necessário coletar os ramos nos quais elas estavam. Com isso, convencionou-se sempre remover os ramos que estivessem mais próximos

do local de fixação do parasita. As avaliações feitas com o LCA4 e a bomba de pressão foram realizadas aproximadamente 2 minutos após a coleta, evitando, assim, a perda de informação sobre a fisiologia do indivíduo. Visto que em campo a luminosidade sofre contínuas variações devido a nebulosidade, convencionou-se realizar as medidas com o espectroradiômetro em laboratório, onde é possível padronizar a fonte de luz incidente. Isso se fez necessário pelo fato de as medidas com tal instrumento serem tomadas a partir do espectro de reflectância da folha, exigindo, assim, a mesma fonte de luz para todas as folhas no momento da medida. Dessa forma, para minimizar a perda de informação biológica, as folhas coletadas foram envolvidas em papel-alumínio e conservadas em uma caixa de isopor com gelo até o momento da avaliação.

2.4.1 Trocas gasosas e potencial hídrico foliar

Os índices relacionados às trocas gasosas durante o processo de fotossíntese (taxa fotossintética, eficiência de uso da água, transpiração, carbono interno e condutância estomática), foram avaliados com o auxílio de um sistema portátil de medida de fotossíntese, o LCA4 (ADC Instruments), no período da manhã (das 8h30 até as 12h). Os dados referentes ao potencial hídrico foliar foram coletados com bomba de pressão (PMS Instruments -Plant Moisture - Modelo 1000), sendo as medidas tomadas antes do crepúsculo matinal e ao meio-dia.

2.4.2 Espectro de reflectância foliar e índices indicadores fisiológicos

O espectro de reflectância foliar foi avaliado por um espectroradiômetro portátil USB-850 RED TIDE, acoplado a uma fonte de radiação eletromagnética DT-MINI (200 a 1005 nm) e a uma sonda de reflectância R400-7-VIS-NIR (US

BioSolutions OceanOptics). Após a obtenção do espectro de reflectância, com resolução espectral de 1nm, foram derivados alguns índices, que estão descritos abaixo, com R_λ indicando a reflectância (R) em um determinado comprimento de onda (λ - com valores em nanômetros) do espectro compreendido entre o ultravioleta ao infravermelho próximo:

- 1) *Normalized Difference Vegetation Index*, **NDVI** = $(R_{750} - R_{705}) / (R_{705} + R_{750})$ (Gitelson & Merzlyak, 1994). Este índice foi utilizado para obter um parâmetro sobre a fitomassa, área foliar, produtividade, atividade fotossintética e porcentagem de cobertura verde das plantas avaliadas. Ele é obtido pela razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo e do Vermelho, pela soma das delas.
- 2) *Photochemical Reflectance Index*, **PRI** = $(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ (Gamon et al, 1992). Este índice é utilizado para avaliar a eficiência do uso da radiação na fotossíntese. De acordo com os autores, ele é sensível ao estado de epoxidação do ciclo de pigmentos xantofila, sendo utilizado para verificar a produtividade e o estresse na vegetação.
- 3) *Yellowness Index*, **YI** = $(R_{580} - 2R_{624} + R_{668}) / (44 \text{ nm})^2$ Segundo Adams e colaboradores (1999), o índice de amarelecimento fornece uma medida para a clorose de folhas em plantas estressadas. O índice é calculado base em comprimentos de onda na margem do visível, que são considerados menos sensíveis às mudanças na estrutura da folha ou conteúdo de água.

2.4.3 Análises estatísticas

Os dados foram analisados utilizando-se o software R e o pacote *Agricolae* (Mendiburu, 2013), testando-se sempre a normalidade pelo teste de

Kolmogorov-Smirnov, com um erro-padrão de 95%. Verificada a normalidade dos dados, foram feitos testes de média, para comparar as taxas fisiológicas entre indivíduos parasitados e não parasitados, sendo utilizados o teste F (ANOVA), quando os dados apresentavam com uma distribuição normal e Kruskal-Wallis, quando não apresentavam distribuição normal.

3 RESULTADOS

3.1 O efeito do parasitismo na mortalidade de *V. thyrsoides*

Os modelos desenvolvidos apontaram que a probabilidade de sobrevivência foi afetada pela altura da hospedeira e pelo número de parasitas. As outras variáveis consideradas, CAP da hospedeira e a área da copa do parasita, não contribuíram significativamente, sendo removidas do modelo final. Este, portanto, obteve para o teste de Qui-quadrado $\chi^2 = 38,19$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0,22$, sendo representado pela seguinte expressão:

$$y = \exp(-0,21+0,57x-0,55z)/1 + \exp(-0,21+0,57x-0,55z)$$

Na expressão, 'x' representa o número de parasitas e 'z' a altura das hospedeiras. A partir do modelo, verificou-se que a probabilidade de sobrevivência elevou-se com o aumento da altura da hospedeira e diminuiu com o incremento no número de parasitas (Figura 2).

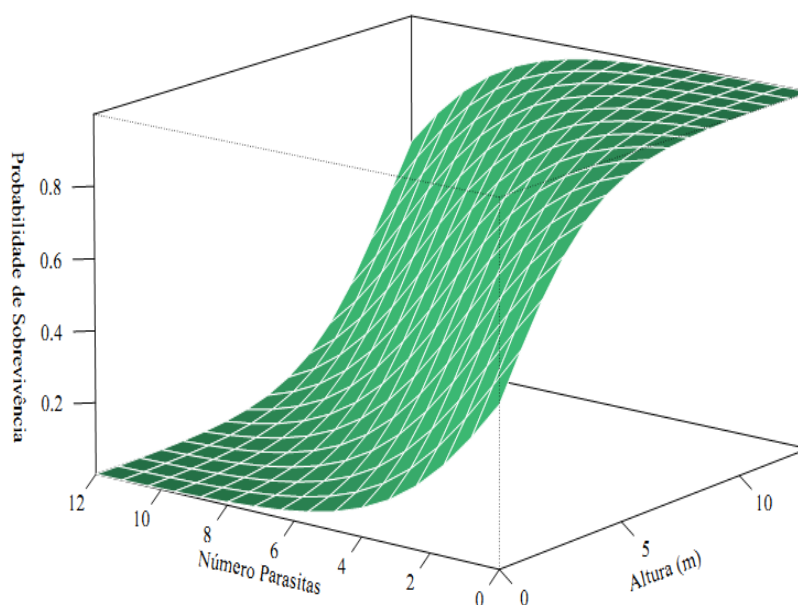


Figura 2 Correlação existente entre o número de parasitas (eixo x), altura (eixo z) e a probabilidade de sobrevivência dos hospedeiros (eixo y), segundo o modelo ($y = \exp(-0,21+0,57x-0,55z)/1 + \exp(-0,21+0,57x-0,55z)$; $R^2 = 0,22$).

3.2 A influência do parasitismo nas respostas fisiológicas de *V. thyrsoidea*.

Pelos resultados, verificou-se que tanto a eficiência fotossintética quanto o estado hídrico das plantas de *V. thyrsoidea* foram afetados pela presença de parasitas. Os índices que mostraram essa influência mais claramente foram os de “carbono interno” (Figura 6) e “eficiência do uso da água” (Figura 7), no período da seca, assim como os “potenciais hídricos foliares” (Figuras 10 e 11) da madrugada, tanto na estação seca como na chuvosa. O índice de “carbono interno” apresentou-se maior nas plantas parasitadas, ao passo que o índice da “eficiência do uso da água” foi inferior para essas plantas. Com relação ao “potencial hídrico foliar” da madrugada, as plantas parasitadas apresentaram

maiores valores, tanto na estação seca como na chuvosa.

Os outros índices associados à eficiência fotossintética, como “taxa fotossintética” (Figura 3), “NDVI” (Figura 4), “PRI” (Figura 5) e “condutância estomática” (Figura 8), não apresentaram diferenças significativas. Quanto aos outros índices associados ao estado hídrico, verificou-se que tanto a “transpiração” (Figura 9) como o “potencial hídrico foliar” (Figura 12) do meio-dia não apresentaram diferenças significativas. Os índices utilizados para verificar se a senescência foliar era antecipada pelo parasitismo, “Yi” (Figura 13) e “NDVI”, também não apresentaram diferenças estatísticas.

- RESPOSTAS PARA A EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA:

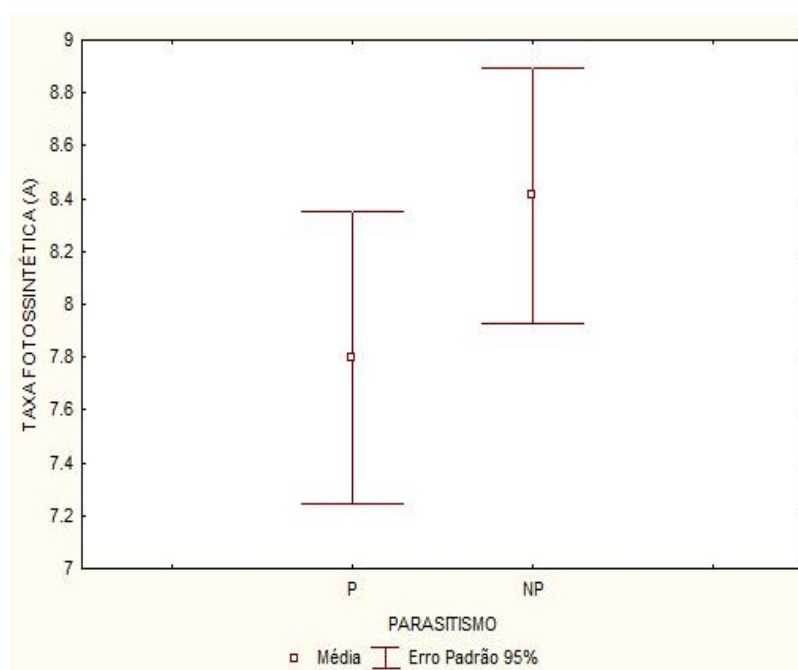


Figura 3 Comparação da taxa fotossintética, dada em $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, entre indivíduos parasitados (P) e não parasitados (NP) durante a estação seca, com $F = 06259$, $p = 0,4305$.

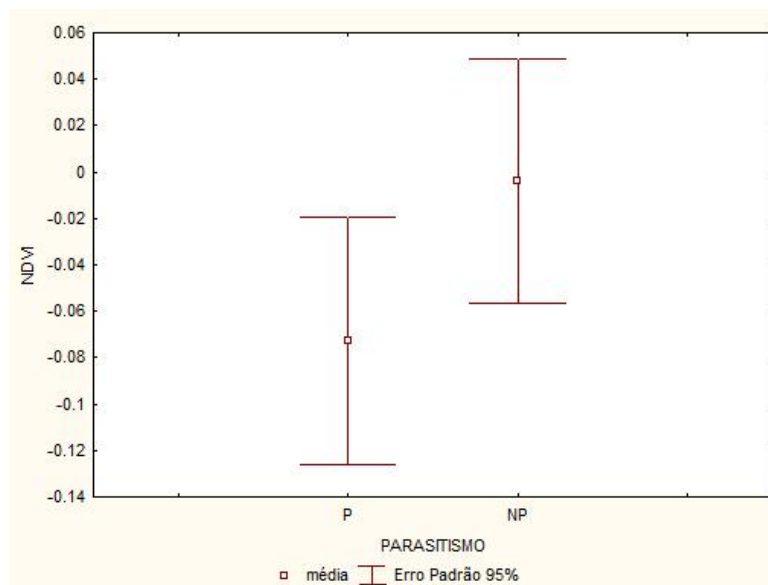


Figura 4 Comparação do NDVI, com valores que variam de -1 a 1, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $F = 0,7655$, $p = 0,3834$.

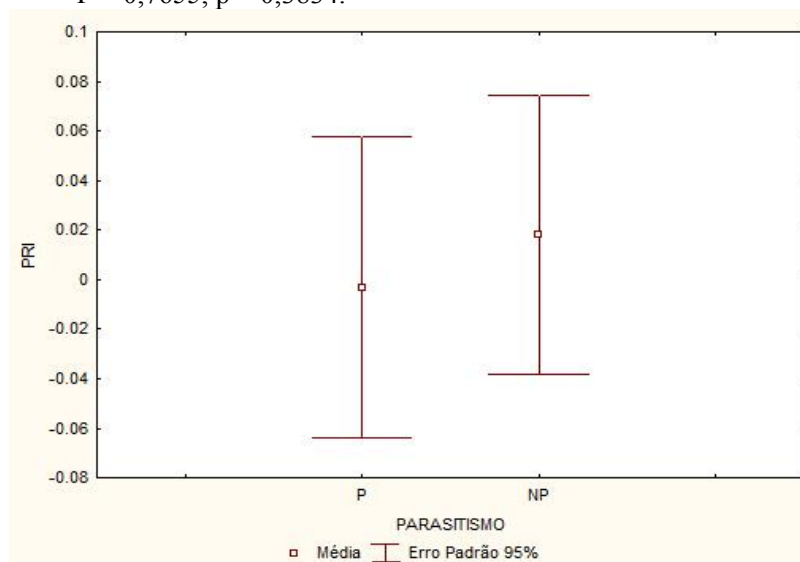


Figura 5 Comparação do PRI, com valores que variam de -0,2 a 0,2, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $F = 0,0597$, $p = 0,8074$.

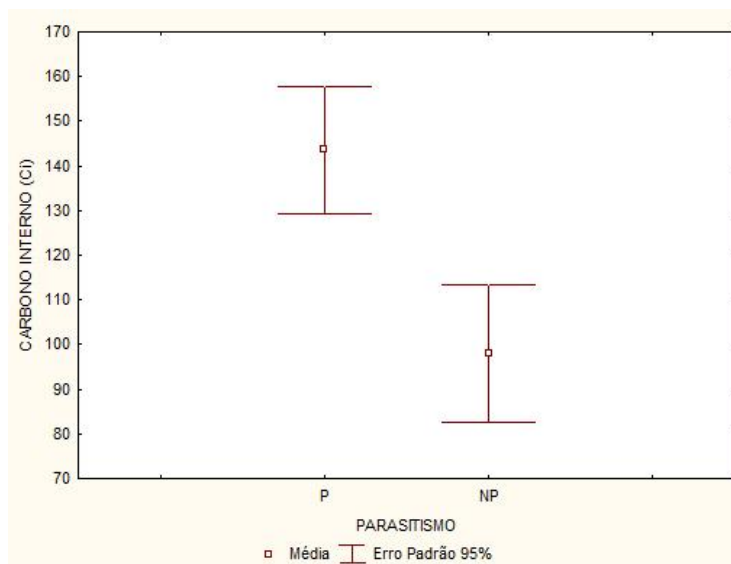


Figura 6 Comparação da taxa de carbono interno (Ci), dado em $\mu\text{mol mol}^{-1}$, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante o período da seca, com $KW = 6,0465$, $p = 0,0139$.

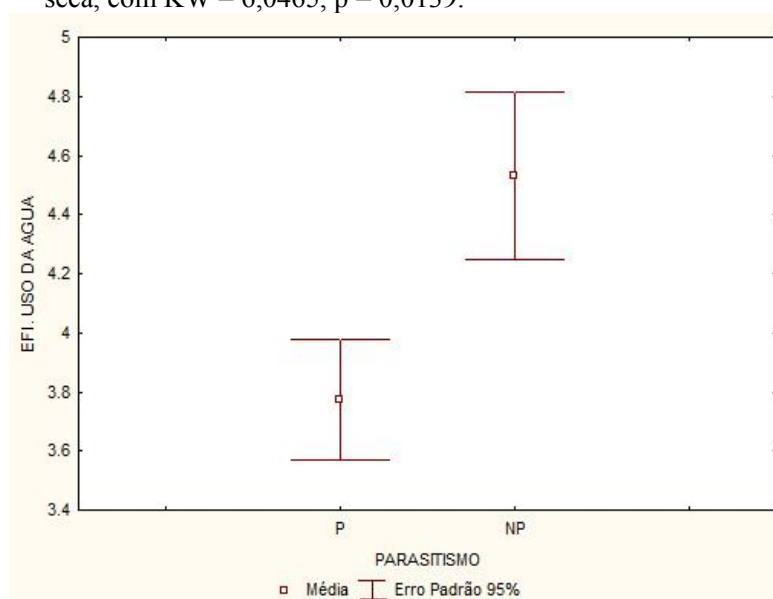


Figura 7 Comparação das taxas de eficiência do uso da água, dada em $[(\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}]$, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $F = 4,2541$, $p = 0,0414$.

- RESPOSTAS PARA O ESTADO HÍDRICO:

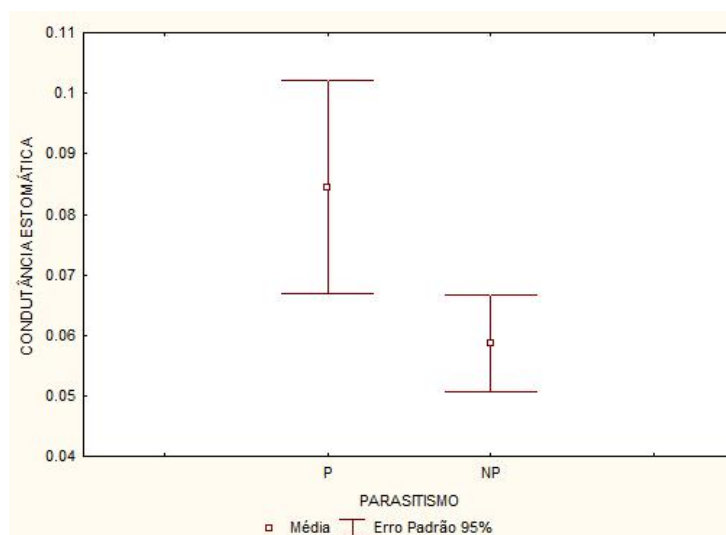


Figura 8 Comparação das taxas de condutância estomática, dada em $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $KW = 2,2243$, $p = 0,1359$.

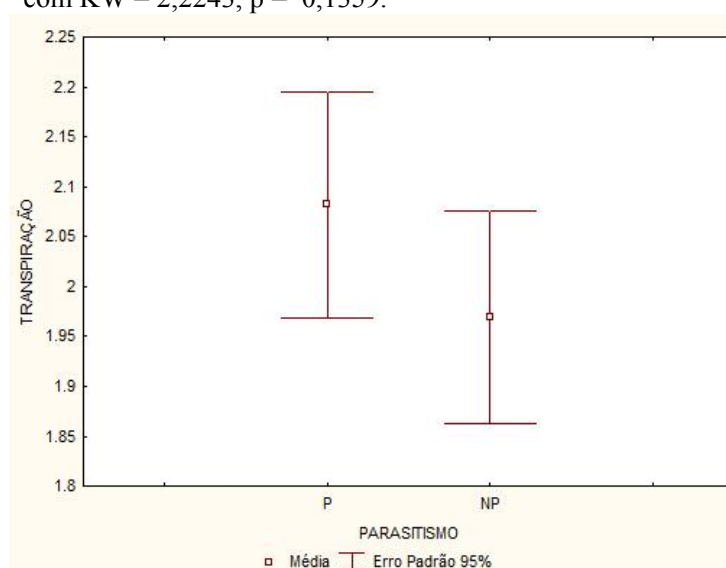


Figura 9 Comparação das taxas de transpiração, dada em $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $KW = 0,246$, $p = 0,6199$.

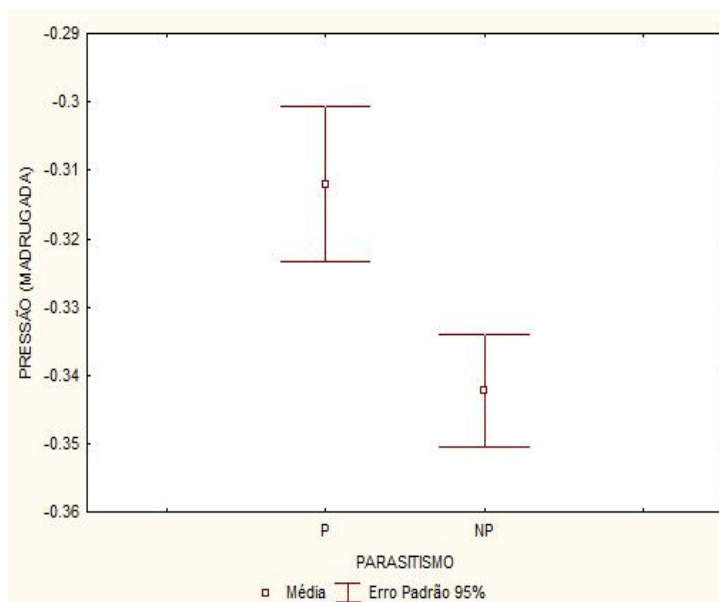


Figura 10 Comparação do potencial hídrico na madrugada, dado em MPa, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $KW = 7,6052$, $p = 0,0058$.

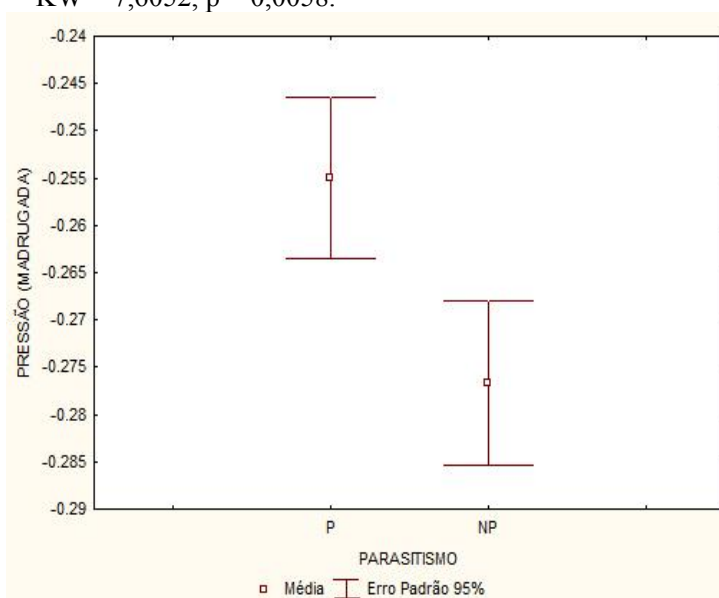


Figura 11 Comparação do potencial hídrico na madrugada entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação chuvosa, com $KW = 4,3115$, $p = 0,0379$.

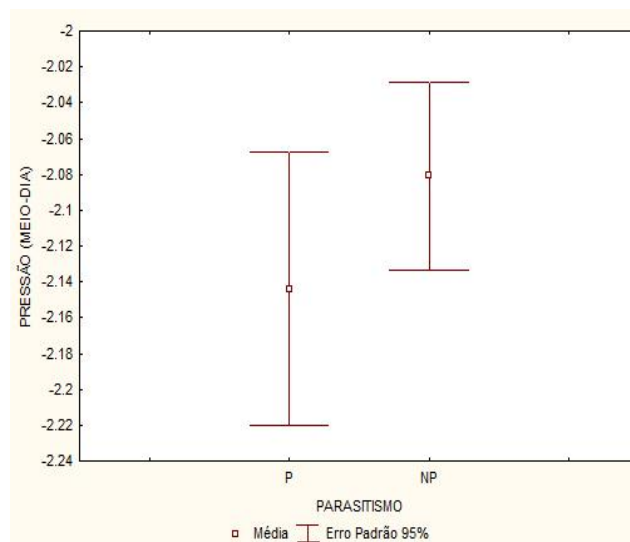


Figura 12 Comparação do potencial hídrico ao meio-dia, dado em MPa, entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $F = 0,4177$, $p = 0,5194$.

- RESPOSTAS PARA A SENESCÊNCIA FOLIAR:

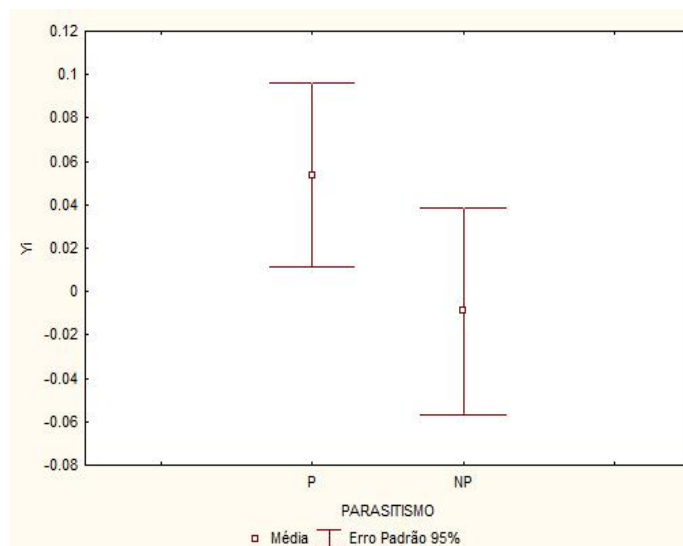


Figura 13 Comparação do Yi entre indivíduos parasitados e não parasitados durante a estação seca, com $F = 0,8723$, $p = 0,3522$.

4 DISCUSSÃO

4.1 O efeito do parasitismo na mortalidade de *V. thyrsoidea*.

De acordo com Barbu (2012), a redução da vitalidade da hospedeira é um dos sintomas relacionados ao grau de infestação. Em seu estudo, ela demonstrou que o parasitismo pode causar efeitos deletérios à espécie hospedeira, quando esta é infestada por um elevado número de parasitas. Os resultados do presente estudo corroboram o estudo de Barbu, ao mostrarem que quanto maior o nível de infestação maior é a probabilidade de a hospedeira morrer, confirmando, assim, a hipótese estabelecida. Teodoro e colaboradores (2013) já haviam demonstrado que a mortalidade dos indivíduos de *V. thyrsoidea* estava associada à presença de parasitas. No entanto, não estava claro se era de fato a simples presença da parasita que levava a hospedeira à morte, visto que é possível observar com frequência a convivência de ambas as espécies associadas por um longo período de tempo. Dessa forma, no presente estudo conseguiu-se demonstrar através do modelo estabelecido que a mortalidade de *V. thyrsoidea* está fortemente vinculada ao grau de infestação, uma vez que foi encontrada uma correlação negativa entre o número de parasitas e a probabilidade de sobrevivência.

No modelo, ainda ficou demonstrado que a sobrevivência aumentou com a altura das hospedeiras. Assim, ambos os fatores, ou seja, altura da hospedeira e o número de parasitas, devem ser analisados em conjunto. As alturas maiores conferem à hospedeira uma maior chance de sobreviver, mesmo quando infestadas por parasitas. Por outro lado, alturas inferiores associadas com uma grande infestação conferem uma baixa probabilidade de sobrevivência. No entanto, Teodoro e colaboradores (2010) mostraram em seu estudo que as árvores mais altas são sempre as mais infestadas, o que é confirmado por outros

autorres (AUKEMA e MARTÍNEZ del RIO, 2002; ROXBURGH e NICOLSON 2008). Aukema e Martínez del Rio (2002) ainda mostraram que a probabilidade de o dispersor da semente da espécie parasita visitar uma árvore já infestada é bem maior do que em uma árvore não parasitada. Entretanto, o nosso modelo mostra que, até mesmo para as árvores mais altas, se a infestação for muito grande, pode ocorrer mortalidade. Por isso, quando se tratar da sobrevivência de *V. thyrsoidea*, devem-se analisar esses fatores simultaneamente, já que ambos exercem forte influência.

Um outro fator que interfere indiretamente sobre a mortalidade de *V. thyrsoidea* é a presença do fogo, o qual ocorre com uma certa frequência no habitat dessa espécie. O fogo atua como um fator regulador da população de *V. thyrsoidea* (TEODORO et al. 2013). Na ocorrência de incêndios há uma redução na carga de parasitismo, já que a espécie parasita não apresenta a mesma resistência ao fogo adquirida pela hospedeira ao longo do tempo (TEODORO et al. 2013). Assim, com o declínio da população de parasitas, há uma queda no grau de infestação, o que, por sua vez, aumenta a chance de sobrevivência dos indivíduos de *V. thyrsoidea*. Por outro lado, a ausência dos incêndios por um longo período de tempo possibilita um aumento na população da espécie parasita (TEODORO et al. 2013), ou seja, há um aumento no grau de infestação e, conseqüentemente, um aumento na mortalidade de *V. thyrsoidea*.

4.2 A influência do parasitismo nas respostas fisiológicas de *V. thyrsoidea*

As análises fisiológicas apontaram que o rendimento fotossintético é uma das possíveis causas da mortalidade de *V. thyrsoidea* associada ao parasitismo. Por se tratar de uma espécie hemiparasita, sabe-se que ela remove parte dos nutrientes captados pela hospedeira, influenciando, assim, na atividade fotossintética desta última. Essa influência foi indicada tanto pelos níveis de

“carbono interno” (Ci) como pelos valores da “eficiência do uso da água”, os quais apresentaram diferenças significativas entre plantas parasitadas e não parasitadas. Por outro lado, ficou evidente que o estado hídrico não representa um fator para causar mortalidade, uma vez que foi comprovado através do potencial hídrico da madrugada que as plantas parasitadas conseguem recuperar sua hidratação melhor do que as plantas não parasitadas. Notou-se ainda que, nos parâmetros observados, as maiores diferenças entre plantas parasitadas e não parasitadas ocorreram no período da seca. Com isso, pode-se inferir que o parasitismo representa um fator agravante para o estresse que essas plantas já sofrem em seu habitat durante o período da seca, podendo levá-las à morte.

Na literatura, encontram-se alguns estudos que ilustram bem essa interferência do parasitismo na fisiologia da espécie hospedeira. Ameloot, Verheyen e Hermy (2005) mostraram que a biomassa das hospedeiras pode ter uma redução média de 41 % quando estão infestadas por um hemiparasita. Hautier e colaboradores (2010), ao modelarem o crescimento de uma parasita associada a diferentes espécies de hospedeiras, verificaram que o crescimento da primeira está fortemente vinculada ao crescimento da segunda, e que geralmente há uma perda de biomassa por parte das espécies hospedeiras quando estão infestadas. Cameron e colaboradores (2008) também observaram que a biomassa de *Phleum bertolonii* era significativamente menor quando infestada pela parasita *Rhinanthus minor*. Além disso, ainda notaram que o parasitismo levou a uma significativa diminuição do conteúdo total de clorofila nessa mesma espécie, afetando sua atividade fotossintética. Cameron e colaboradores (2005) já haviam demonstrado que o parasitismo afeta a eficiência fotossintética. No referido trabalho, eles revisaram os efeitos direto e indireto da espécie hemiparasita, mostrando que ela era capaz de diminuir o rendimento quântico do Fotossistema 2 nas folhas de sua hospedeira.

No presente trabalho, ao analisar se a eficiência fotossintética era

inferior nas plantas parasitadas, observou-se pelos índices de “carbono interno” e “eficiência do uso da água” que há um prejuízo para as plantas parasitadas nesse quesito. Apesar de os índices diretamente ligados à eficiência fotossintética (taxa fotossintética, NDVI e PRI) não terem apresentado resultados significativos, encontrou-se no presente estudo que as taxas de carbono interno (Ci) foram significativamente maiores em plantas parasitadas. Isso significa que há uma quantidade superior de CO₂ nos tecidos foliares dessas plantas, mostrando que parte desse gás, captado por elas para realização da fotossíntese, não está sendo metabolizado. Além disso, ainda observou-se que, no período da seca, as plantas parasitadas apresentaram uma menor eficiência no uso da água. Isso indica que tais plantas foram menos eficazes na realização da fotossíntese, uma vez que esse índice é obtido pela razão entre a “taxa fotossintética” e a “transpiração”, estando, assim, diretamente relacionado com a eficiência fotossintética. Em síntese, os resultados de “carbono interno” e “eficiência do uso da água” apontaram que a eficiência fotossintética foi afetada pelo parasitismo, sendo um dos prováveis fatores que causam a morte de indivíduos parasitados de *V. thyrsoides*.

Em geral, o parasitismo afeta negativamente a eficiência fotossintética das plantas hospedeiras (WATLING e PRESS, 2000; CAMERON et al., 2005, 2008). No artigo de Watling e Press (2000), ficou comprovado que a espécie parasita *Striga hermonthica* promove alterações na eficiência fotossintética de plantas C₃ hospedeiras. No caso, foi verificado que a eficiência de carboxilação e a taxa fotossintética eram diminuídas na presença do parasita, assim como o conteúdo da enzima Rubisco, que também era inferior nas plantas infestadas. Isso corrobora os resultados do presente estudo, o qual também pode estar relacionado com uma queda no teor da enzima Rubisco, como sugerido por Watling e Press (2000). Como não foi verificada nenhuma restrição estomática, uma vez que os índices de “taxa fotossintética” e “condutância estomática” não

apresentaram diferenças significativas, sugere, dessa forma, que o parasita afeta a eficiência fotossintética da hospedeira mediante alguma restrição bioquímica, como, por exemplo, a queda no teor da enzima Rubisco.

Em relação ao estado hídrico das plantas, os resultados do “potencial hídrico foliar” foram, de certa forma, contra intuitivos. Verificou-se que esse índice foi significativamente maior nas plantas parasitadas, durante o período da madrugada, tanto na estação seca como na chuvosa, indicando que tais plantas estão mais hidratadas. Esperava-se que as plantas parasitadas estivessem mais desidratadas pelo fato de a planta parasita remover parte da água captada por sua hospedeira. Mas, curiosamente, durante a madrugada, as plantas parasitadas apresentaram-se mais hidratadas do que as não parasitadas. Nesse período, a perda de água pela transpiração é normalmente baixa, devido ao fechamento dos estômatos, o que já levaria tanto as plantas parasitadas como as não parasitadas a apresentarem um maior potencial hídrico foliar. No entanto, a espécie parasita não possui um controle estomático eficiente e continua perdendo água pela transpiração (ULLMAN et al. 1985), o que, por sua vez, induz a planta parasitada a absorver mais água do solo do que a não parasitada. Isso provavelmente levou a um acúmulo de água nos ramos não parasitados da planta infestada, apresentando, assim, um maior potencial hídrico foliar para o indivíduo.

Além disso, é provável que o parasitismo provoque uma alteração no potencial osmótico do sistema parasita/hospedeira, permitindo uma maior entrada de água em relação às plantas não parasitadas. Alterações no aparato fisiológico das plantas hospedeiras induzidas pelo parasitismo já foram relatadas na literatura. No estudo de Logan e colaboradores (2013), verificou-se que o parasitismo promoveu uma alteração hormonal na espécie hospedeira, responsável por modificar a sua morfologia foliar. Essa reestruturação morfológica teve como consequência um aumento na taxa de transpiração e uma

menor eficiência no uso da água. No presente estudo, suspeita-se que a espécie parasita seja capaz de promover alguma alteração na composição dos solutos presentes no mesofilo das hospedeiras. Isso abaixaria o potencial osmótico do sistema parasita/hospedeira, de modo a permitir uma maior entrada de água nessas plantas, em comparação com as não parasitadas. No entanto, essa suspeita só seria comprovada mediante estudos bioquímicos, os quais não puderam ser realizados nessa ocasião.

Em geral, o que encontram na literatura é um decréscimo no potencial hídrico induzido pelo parasitismo. Alguns trabalhos mostram que as altas taxas de transpiração da espécie parasita induzem a uma diminuição do potencial hídrico de ramos parasitados (KNUSTON, 1983; STEWART e PRESS, 1990). Escher e colaboradores (2008) mostraram que, mesmo sob condições de seca, as espécies parasitas mantêm seus estômatos abertos, o que justifica as altas taxa de transpiração dessas espécies. Isso provavelmente acarreta algum prejuízo para a espécie hospedeira. De acordo com Zweifel e colaboradores (2012), o parasitismo intensifica a perda de água pela transpiração nos indivíduos parasitados. Para compensar tal perda, esses indivíduos promovem o fechamento estomático, o que, por sua vez, leva a uma diminuição na assimilação do carbono. Essa queda da assimilação a longo prazo pode levar os indivíduos à morte por desnutrição.

Os outros índices relacionados ao estado hídrico das plantas, “potencial hídrico foliar” do meio-dia, “condutância estomática” e “transpiração”, não apresentaram diferenças estatísticas. No entanto, os resultados apontaram para uma tendência de serem menores em plantas parasitadas. Apesar de não ser amparada pela estatística, essa tendência pode ser suportada pelo que normalmente é encontrado na literatura, uma vez que ela sugere que, ao longo do dia, o parasitismo intensifica a perda de água na planta hospedeira (KNUSTON, 1983; STEWART e PRESS, 1990; ESCHER et al., 2008;

ZWEIFEL et al., 2012). Ainda que tais tendências não tenham nenhum fundamento, é importante salientar a capacidade de reidratação dessas plantas, proporcionada pelo “potencial hídrico foliar” da madrugada. Dessa forma, pode-se dizer que a influência que o parasitismo exerce sobre o estado hídrico das plantas hospedeiras não representam nenhuma ameaça à sua sobrevivência.

A hipótese de que o parasitismo estaria antecipando o processo de senescência não pôde ser confirmada pelos resultados, já que os índices referentes a esse processo, “Yi” e “NDVI”, não apresentaram diferenças significativas. No entanto, notou-se previamente que, no período da seca, os ramos parasitados de *V. thyrsoidea* frequentemente não apresentavam folhas.

Uma possível explicação para o que foi constatado seria a diminuição da concentração de Nitrogênio no tecido foliar. Como esse elemento é um dos principais constituintes da clorofila, sua falta refletiria em uma menor produção desse pigmento. Com isso, as folhas começariam a perder sua função fotossintetizante e entrariam em senescência. O índice “NDVI”, que leva em consideração a concentração de Nitrogênio (ADAMS et al., 1999), apesar de não apresentar diferenças significativas, apontou para a tendência de ser inferior nas plantas parasitadas. Isso, caso fosse confirmado, justificaria tal suspeita, pois indicaria que as folhas dos indivíduos parasitados possuem um menor gradiente de clorofila. Para se confirmar tais suposições, seria necessária a realização de estudos mais diretamente relacionados a essa questão, os quais não puderam ser abordados no presente trabalho. Dessa forma, sugere-se que sejam feitos novos estudos sobre a fenologia foliar e a diagnose do estado nutricional dessas plantas.

De fato, pouco se sabe sobre a relação que há entre parasitismo e senescência foliar. Alguns estudos mostraram que a senescência pode ser favorecida pelo parasitismo, pelo fato de a infestação induzir um aumento na produção do ácido abscísico (ABA) (TAYLOR et al, 1996; FROST et al, 1998).

Este, juntamente com o etileno, são os principais hormônios que promovem o processo de senescência e desfolhamento. Barbu (2012) relatou que o parasitismo antecipou o processo de senescência em uma espécie de Pinaceae. No referido estudo, verificaram-se que, em altos níveis de infestação, o desfolhamento chegava a até 40% da parte superior da copa. Já no estudo de Logan e colaboradores (2013), foi observado o oposto. Nesse caso, o parasitismo retardou indiretamente o processo de senescência e ainda estimulou o surgimento de novas ramificações. Isso ocorreu porque, segundo os autores, a infestação provocou um descontrole hormonal na planta hospedeira, fazendo com que aumentasse a produção de citocinina. De acordo com Taiz (2004), a citocinina tem a capacidade de retardar o processo de senescência, além de estimular a divisão celular.

5 CONCLUSÕES

A partir do modelo estabelecido no presente estudo, foi possível comprovar a hipótese de que os indivíduos mais infestados apresentaram as maiores taxas de mortalidade. Com isso, constatou-se que, de fato, é o parasitismo a principal causa de mortalidade nas populações de *V. thyrsoides*, desde que a infestação ocorra em grande quantidade. Caso contrário, ficou evidenciado que é possível a sobrevivência da hospedeira, quando infestada por poucos parasitas. O modelo demonstrou ainda que a altura das hospedeiras também influencia na mortalidade. Dessa forma, quando se for analisar a sobrevivência das hospedeiras, deve-se sempre considerar tanto o número de parasitas quanto a altura das hospedeiras.

Em termos fisiológicos, verificou-se que a eficiência fotossintética foi afetada negativamente pelo parasitismo, sendo considerada uma das possíveis causas de morte das hospedeiras. Os índices de “carbono interno” (Ci) e “eficiência do uso da água” (EUA) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sendo o Ci maior e o EUA menor para as plantas parasitadas. Isso indicou a ocorrência de alguma falha no processo fotossintético dos indivíduos parasitados, afetando, assim, sua eficiência fotossintética. Com relação ao estado hídrico das plantas, verificou-se que elas possuem uma grande capacidade de reidratação, conferida pelo, “potência hídrico foliar” da madrugada. Esse índice apresentou-se maior nas plantas parasitadas, refutando, assim, a hipótese estabelecida e o que normalmente é encontrado na literatura. A explicação para tal contradição seria que a espécie parasita induz uma maior absorção de água pela hospedeira em relação às plantas não parasitadas. No entanto, os mecanismos responsáveis por essa maior absorção nas plantas parasitadas ainda é desconhecido. A hipótese sobre a senescência também foi refutada, uma vez que os índices utilizados para investigar esse quesito, Yi e

NDVI, não apresentaram respostas significativas. Entretanto, constatou-se em campo que a maioria dos ramos parasitados não apresentavam as folhas da espécie hospedeira.

Dessa forma, o presente estudo foi de suma importância, por ampliar o conhecimento sobre a relação de parasitismo que ocorre entre as espécies *V. thyrsoidea* e *P. Robustus*. O estudo possibilitou uma melhor compreensão de como o parasitismo leva os indivíduos infestados à morte, classificando as variáveis dessa interação que melhor explicavam a causa de mortalidade. Além disso, foram apresentadas algumas respostas fisiológicas, que podem representar possíveis causas da mortalidade associada ao parasitismo. O estudo teve um caráter exploratório, ao tentar evidenciar as principais respostas fisiológicas promovidas pelo parasitismo. No entanto, ficaram algumas questões sem resposta, as quais necessitariam de novos estudos para serem elucidadas. Como é o caso do maior potencial hídrico foliar em plantas parasitadas, o qual necessitaria de um estudo bioquímico para melhor esclarecimento, assim como o caso da senescência, que necessitaria de estudos de fenologia para justificar a constatação feita em campo.

REFERÊNCIAS

- Adams ML, Philpot WD, Norwell WA. 1999.** Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. *International Journal of Remote Sensing* **20**, 3663–3675.
- Ameloot E, Verheyen K, Hermy M. 2005.** Meta-analysis of standing crop reduction by *Rhinanthus* spp. and its effect on vegetation structure. *Folia Geobotanica* **40**, 289–310.
- Aukema JE, Martínez del Río C. 2002.** Where does a fruit-eating bird deposit mistletoe seeds? Seed deposition patterns and an experiment. *Ecology* **83**, 3489–3496.
- Baird WMV, Riopel JL. 1983.** Experimental studies of the attachment of the parasitic angiosperm *Agalinis purpurea* to a host. *Protoplasma* **118**, 206-218.
- Bannister P, Strong GL. 2001.** The distribution and population structure of the temperate mistletoe *Ileostylus micranthus* in the Northern Cemetery, Dunedin, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* **39**, 225-233.
- Blackburn GA. 1998.** Spectral indices for estimating photosynthetic concentrations: a test using senescent tree leaves. *International Journal of Remote Sensing* **19**, pp. 657–675.
- Calvin CL, Wilson CA. 2006.** Comparative morphology of epicortical roots in Old and New World Loranthaceae with reference to roots types, origin, patterns of longitudinal extension and potential for clonal growth. *Flora* **201**, 345-353.
- Cameron DD, Hwangbo JK, Keith AM, Geniez JM, Kraushaar D, Rowntree J. 2005.** Interactions between the hemiparasitic angiosperm *Rhinanthus minor* and its hosts: from the cell to the ecosystem. *Folia Geobotanica* **40**, 217–229.

Cameron DD, Geniez JM, Seel WE, Irving LJ. 2008. Suppression of Host Photosynthesis by the Parasitic Plant *Rhinanthus minor*. *Annals of Botany* **101**, 573–578.

Carvalho D A. 1992. Flora fanerogâmica de campos rupestres da Serra da Bocaina, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. *Ciência e Prática* **16**, 97-122.

Escher P, Peuke AD, Bannister P, Fink S, Hartung W, Jiang F, Rennenberg H. 2008. Transpiration, CO₂ assimilation, WUE, and stomatal aperture in leaves of *Viscum album* (L.): effect of abscisic acid (ABA) in the xylem sap of its host (*Populus euamericana*). *Plant Physiology and Biochemistry* **46**, 64-70.

Faria RAVB. 1999. Programa de educação ambiental para o Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Dissertação de Mestrado** (Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. pp. 217.

Felfili JM, Silva Junior MC. 1992. Floristics composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forest at Fazenda Água Limpa. In: *Nature and Dynamics of Forest/Savanas Boundaries*. (Furley PA, Proctor J, Ratter JA. Eds.) London: Chapman & Hall.

Frost DL, Gurney AL, Press MC, Scholes JD. 1998. *Striga hermonthica* reduces photosynthesis in *Sorghum*: the importance of stomatal limitation and a potential role for ABA? *Plant, Cell and Environment* **20**, 483–492.

Gamon JA, Peñuelas J, Field CB. 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment* **41**, 35–44.

Gitelson AA, Merzlyak MN. 1994. Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* **143**, 286–292.

Glatzel G, Geils BW. 2009. Mistletoe ecophysiology: host-parasite interactions. *Annals of Botany* **87**, 10-15.

Harrel Jr FE. 2013. *Regression modeling strategies*: R package. Version 3.6-3. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=rms>>. Acesso em: 2 julho 2013.

Howell BE, Mathiasen RL. 2004. Growth impacts of *Psittacanthus augustifolius* Kuijt on *Pinus oocarpa* Schiede in Honduras. *Forest Ecology and Management* **198**, 75-88.

Judd WS, Campbell CS, Kellogg EA, Stevens PF, Donoghue MJ. 2009. *Sistemática Vegetal: um enfoque filogenético*. Porto Alegre: Artmed.

Knutson DM. 1983. *Physiology of mistletoe parasitism and disease responses in the host*. In: *The Biology of Mistletoes* (Calder DM, Bernhardt P, eds.) San Diego, CA: Academic Press.

Korning J, Balslev H. 1994. Growth and mortality of trees in Amazonian tropical rain forest in Ecuador. *Journal of Vegetation Science* **4**, 77-86.

Kuijt J. 1969. *The Biology of parasitic flowering plants*. Berkeley: University of California Press.

Kuijt J. 1977. Haustoria of phanerogamic parasites. *Annual Review of Phytopathology* **17**, 91-118.

Ladley JJ, Kelly D. 1996. Dispersal, germination and survival of New Zealand mistletoes (Loranthaceae): dependence on birds. *New Zealand journal of ecology* **20**, 69-79.

Lee KB, Lee CD. 1989. The structure and development of the haustorium in *Cuscuta australis*. *Canadian Journal of Botany* **67**, 2975-2982.

Logan BA, Reblin JS, Zonana DM, Dunlavy RF, Hricko CR, Hall AW, Schmiege SC, Butschek RA, Duran KL, Emery RJN, Kurepin LV, Lewis JD, Pharis RP, Phillips NG, Tissue DT. 2013. Impact of eastern dwarf mistletoe (*Arceuthobium pusillum*) on host white spruce (*Picea glauca*) development, growth and performance across multiple scales. *Physiologia Plantarum* **147**, 502–513.

Lorenzi H. 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum
Martínez-del-rio C, Hourdequin M, Silva A, Medel R. 1995. The influence of cactus size and previous infection on bird deposition of mistletoe seeds. *Austral Journal of Ecology* **20**, 571-576.

Marvier MA & Smith DL. 1997. Conservation implications of host use for rare parasitic plants. *Conservation Biology* **11**, 839-848.

Mendiburu F. 2013. *Agricolae*: statistical procedures for agricultural research: R package. Version 1.1-4. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>. Acesso em: 2 julho 2013.

Monteiro, R. F., Martins, R. P. & Yamamoto, K. 1992. Host specificity and seed dispersal of *Psittacanthus robustus* (Loranthaceae) in south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* **8**, 307-314.

Nickrent DL. 2002. *Parasitic plants of the World*. In: *Parasitic Plants of the Iberian Peninsula and Balearic Islands*. (López-Sáez JA, Catalán P, Sáez L, eds.) Madrid: Mundi-Prensa Libros, S.A..

Norton DA, Carpenter MA. 1998. Mistletoe parasites: host specificity and speciation. *Ecology and evolution* **13**, 101-105.

Norton DA, Ladley JJ. 1998. Establishment and early growth of *Alepis flavida* in relation to *Nothofagus solandri* branch size. *New Zealand Journal of Botany* **36**, 213-217.

Oliveira-Filho AT, Fluminhan-Filho M. 1999. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. *Cerne* **5**, 51-64.

Riopel JL Timko MP. 1995. *Haustorial initiation and differentiation*. In: *Parasitic Plants* (MC Press, JD Graves, eds.) Londres: Chapman & Hall.
Roxburgh L, Nicolson SW. 2008. Differential dispersal and survival of an African mistletoe: does host size matter? *Plant Ecology* **195**, 21-31.

Sargent consultS. 1995. Seed fate in a tropical mistletoe: the importance of host twig size. *Functional Ecology* **9**, 127-204.

Schulze ED, Ehleringer J. 1984. The effect of nitrogen supply on growth and water-use efficiency of xylemtapping mistletoes. *Planta* **162**, 268-275.

Souza VC, Lorenzi H. 2008. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II*. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum.

Stewart GR, Press MC. 1990. The physiology and biochemistry of parasitic angiosperms. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. **41**, 127-151.

Taiz L. 2004. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed.

Taylor A, Martin J, Seel WE. 1996. Physiology of the parasitic association between maize and witchweed (*Striga hermonthica*): is ABA involved? *Journal of Experimental Botany* **47**, 1057–1065.

Teodoro GS, Berg EVD, Santos MCN, Coelho FF. 2010. How does a *Psittacanthus robustus* Mart. population structure relate to a *Vochysia thyrsoidea* Pohl. host population? *Flora* **205**, 797-801.

Teodoro GS, Berg EVD, Arruda R. 2013. Metapopulation Dynamics of the Mistletoe and Its Host in Savanna Areas with Different Fire Occurrence. *PLoS ONE* **8**, e65836.

Ullman I, Lange OL, Ziegler H, Ehleringer J, Schulze E-D, Cowan IR. 1985. Diurnal courses of leaf conductance and transpiration of mistletoe and their hosts in Central Australia. *Oecologia* **67**, 577-587.

Watling JR, Press MC. 2000. Infection with the parasitic angiosperm *Striga hermonthica* influences the response of the C3 cereal *Oryza sativa* to elevated CO₂. *Global Change Biology* **6**, 919-930.

Wellman FL. 1964. Parasitism among neotropical phanerogams. *Annual Reviews of Phytopathology* **2**, 43-56.

Zweifel R, Bangerter S, Rigling A, Sterck FJ. 2012. Pine and mistletoes: how to live with a leak in the water flow and storage system? *Journal of Experimental Botany* **63**, 2565-2578.