

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

**EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO NA QUALIDADE NUTRICIONAL DE *Eucalyptus camaldulensis* DEHN (MYRTACEAE) E NO ATAQUE DE *Glycaspis brimblecombei* MOORE (HEMIPTERA: PSYLLIDAE)**

FABIENE MARIA DE JESUS

MONTES CLAROS - MG

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS

**EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO NA QUALIDADE NUTRICIONAL DE *Eucalyptus camaldulensis* DEHN (MYRTACEAE) E NO ATAQUE DE *Glycaspis brimblecombei* MOORE (HEMIPTERA: PSYLLIDAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Montes Claros, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas.

Fabiene Maria de Jesus

Orientador: Prof. Dr. Maurício Lopes de Faria

Co-orientador: Prof. Dr. Mário Marcos do Espírito Santo

Montes Claros, 10 de julho de 2009

J58e	<p>Jesus, Fabiene Maria de.</p> <p>Efeito do estresse hídrico na qualidade nutricional de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> DEHN (MYRTACEAE) e no ataque de <i>Glycaspis brimblecombei</i> MOORE (HEMIPTERA: PSYLLIDAE) / Fabiene Maria de Jesus. – 2009.</p> <p>56 f. : il. 30 cm.</p> <p>Bibliografia: f. 46-56</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2009.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Maurício Lopes de Faria.</p> <p>Co-orientador: Prof. Dr. Mário Marcos do Espírito Santo.</p> <p>1 . Eucalipto - Estresse Hídrico. 2 . Insetos Herbívoros - Sugadores. 3. <i>Eucalyptus Camaldulensis</i>. 4. Qualidade Nutricional -Eucalipto. I. Faria, Maurício Lopes de. II. Espírito Santo, Mário Marcos do. III. Universidade Estadual de Montes Claros. IV. Título.</p>
------	--

FABIENE MARIA DE JESUS

**EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO NA QUALIDADE NUTRICIONAL DE *Eucalyptus camaldulensis* DEHN (MYRTACEAE) E NO ATAQUE DE *Glycaspis brimblecombei* MOORE (HEMIPTERA: PSYLLIDAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Montes Claros, como requisito parcial para conclusão do curso de mestrado em Ciências Biológicas

Aprovada em 10 de julho de 2009:

Orientador:



Prof. Dr. Maurício Lopes de Faria

Examinadores:



Prof. Dr. Marcílio Fagundes



Prof. Dr. Ronaldo Reis Júnior

Universidade Estadual de Montes Claros

Montes Claros, Minas Gerais

Julho - 2009

À Alzira, minha querida mãezinha, razão de tudo... e à Maiúra e Zirenice, as melhores irmãs que alguém poderia ter, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Divino Pai Eterno, força espiritual contínua em minha vida.

À mãe natureza, fonte inspiradora e matéria-prima para o desenvolvimento da ciência.

Ao meu querido orientador, professor Maurício Lopes de Faria, que me deu essa oportunidade e por toda a confiança depositada em mim. Pelo carinho que me acolhia sempre quando eu chegava cheia de idéias e dúvidas. Obrigada por todos os ensinamentos.

A minha querida mãe, Alzira Souza de Jesus, por todo apoio e amor que têm me dedicado desde que me concedeu a vida, não tenho palavras para agradecer...

A papai, Nilson Nogueira, pelo amor, honestidade e confiança, te amo muito!

As minhas irmãs, Zirenice e Maiúra, que apesar da distância e imensa saudade sempre se mostraram presentes e preocupadas com meus estudos.

Ao meu namorado Rafael (Mozim) pelo amor incondicional, não medindo esforços para me ajudar, amo-te!

A todos meus familiares, especialmente a tia Elenita e filhas, pelas orações.

Para a concretização deste sonho, além da minha família, pude contar com grandes e verdadeiros amigos. É por isso que agradeço imensamente vocês! Começando pela república das nove, sete e por último cinco mulheres: kênia, Maria, Betânia, Carla, Juliana, Wandrica, Jamila , Moara e Gisele pelo apoio e carinho de uma família em todos os momentos.

Aos amigos dos laboratórios de Ecologia Evolutiva e Biologia da Conservação, especialmente Sara, Bil, Herbert pela amizade e ajuda concedida durante minha permanência neste agradável ambiente.

Aos companheiros das saídas de campo Luis Eduardo (Dudu), Joselândio, Gisele, Jhonathan, Karlinha, Line, Juliana e Vilmar, com chuva ou sol sempre dispostos a me ajudar. Era até divertido!

A Juliana e calouras pela imensa ajuda na triagem do material. Jú, você sabe o quanto me ajudou nessa etapa... Meus sinceros agradecimentos!

A Moara, Jamila e Gisele pelas confidências, amizade verdadeira e com certeza ajuda nesse trabalho. Não me esqueci que vocês me ajudaram nas planilhas, triagens do material, fotografias, lembram? Mais que colegas e amigas, vocês foram como irmãs pra mim.

A Mozim, que sacrificou seus feriados e fins de semana para me ajudar na sofrida triagem dos psilídeos, cochilava, mas me ajudava demais...

A Karlinha, Jhoín e Aline (meu Dinguim) por tudo, tudo mesmo... Pela ajuda em campo, no laboratório, em casa, emocionalmente, financeiramente. Vocês foram pai, mãe, irmãos,

amigos... Não tenho palavras para agradecê-los, afinal “Parceiro é Parceiro e ...” Com certeza, vocês são parte fundamental desse trabalho!

E mais uma vez as amigas psilídeas Ká e Line, vocês foram anjos que Deus colocou em minha vida! Obrigada pela enorme ajuda também na parte escrita! E pela calorosa acolhida em vossa casa!

A empresa Vallourec & Mannesman Florestal na pessoa de Josefredo, Bianca e funcionários, que possibilitou a execução desse trabalho, especialmente ao Vilmar e os meninos dos “Buracos” que possibilitaram a execução de todo o trabalho de campo, e a Nena pelos almoços deliciosos que preparava quando voltávamos do campo.

Ao Magnel, Jhoin e Karlinha, pela enorme ajuda nas análises estatísticas. Obrigada por terem sido tão pacientes comigo!

Ao Prof. Mário Marcos do Espírito Santo pelo apoio, idéias e sugestões em todos os momentos deste trabalho. E a todos os professores, em especial a Marcílio, Ronaldo, Anderson e Geraldo por todos os ensinamentos e oportunidades durante o curso.

A todos os colegas e amigos, especialmente aos amigos de Senador Mourão que me fizeram esquecer por alguns momentos todos os problemas e dificuldades encontrados ao longo dessa caminhada. Obrigada pelas conversas e palavras de consolo!

A Universidade Estadual de Montes Claros e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, em especial aos funcionários na pessoa da secretária Cláudia e de todos os motoristas, pelo suporte logístico e oportunidades que me foram oferecidas.

Ao grande auxílio da empresa Vallourec & Mannesman Florestal (V&M), a qual forneceu todo apoio logístico, disponibilizando funcionários e demais serviços durante todo o estudo.

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto: Padrões de ataque e desenvolvimento de estratégias para o controle biológico de *Glycaspis brimblecombei*.

Enfim, agradeço a todos que direto ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Pelo apoio e financiamento:



**Vallourec & Mannesmann Tubes**  
**V & M Florestal**



Fundação de Amparo à Pesquisa do  
Estado de Minas Gerais



*Laboratório de*  
*Biologia da Conservação*

SUMÁRIO	Páginas
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Área de Estudo.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Desenho Experimental.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Amostragem.....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Predição 1: Plantas em habitats xéricos estão sob maior estresse hídrico que plantas em habitats mésicos .....	26
2.3.2. Predição 2: Plantas estressadas hidricamente possuem melhor qualidade nutricional que plantas não estressadas.....	27
2.3.3. Predição 3: A densidade de ovos e ninfas de <i>G. brimblecombei</i> é maior em plantas estressadas hidricamente.....	28
2.3.4. Taxa de parasitismo: As taxas de parasitismo de ninfas de <i>G. brimblecombei</i> por parasitóides e fungos variam em função da qualidade nutricional de indivíduos de <i>E. camaldulensis</i> .....	30
<b>2.4. Análises estatísticas.....</b>	<b>31</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>

**LISTA DE FIGURAS****Páginas**

Figura 1. Adulto do <i>G. brimblecombei</i> (A) e folhas de <i>E. camaldulensis</i> infestadas com conchas de <i>G. brimblecombei</i> (B).....	23
Figura 2. Hábitats xérico (A) e mésico (B) amostrados durante o estudo, Fazenda Extrema da V&M Florestal, Olhos D'Água, Minas Gerais.....	25
Figura 3. Amostra de solo para medida da porcentagem de água (A); retirada de discos de folhas de <i>E. camaldulensis</i> para medir o CRA (B); medição do teor de clorofila a partir do clorofilômetro manual SPAD-502 (C).....	28
Figura 4. Esquema da metodologia aplicada na amostragem dos indivíduos de <i>E. camaldulensis</i> no campo e na triagem do material.....	29
Figura 5. Ovos eclodidos e inteiros de <i>G. brimblecombei</i> (A); ninfa de <i>G. brimblecombei</i> construindo a concha (B); ninfas e conchas de <i>G. brimblecombei</i> (C). Fonte: Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP – Botucatu-SP.....	30
Figura 6. Adulto do <i>P. bliteus</i> (A); ninfas de <i>G. brimblecombei</i> com aspecto mumificado devido ao parasitismo por <i>P. bliteus</i> (B); larva de <i>P. bliteus</i> (C) e concha de <i>G. brimblecombei</i> parasitada por fungos (D). Fonte: Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP–Botucatu-SP.....	31
Figura 7. Conteúdo relativo de água (%) (CRA) em indivíduos de <i>E. camaldulensis</i> em função da porcentagem de água no solo (hábitats xérico e mésico), (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....	33
Figura 8. Teor de clorofila em indivíduos de <i>E. camaldulensis</i> em função do conteúdo relativo de água (%) CRA (n=60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....	33

Figura 9. Densidade média de ovos (a) e densidade média de ninfas (b) em indivíduos de *E. camaldulensis* em função do teor de clorofila (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....35

Figura 10. Densidade média de ovos (a) e densidade média de ninfas (b) em indivíduos de *E. camaldulensis* em função do CRA (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....36

Figura 11. Proporção de ninfas de *G. brimblecombei* parasitadas por *P. bliteus* e por fungos em função do CRA (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....37

Figura 12. Proporção de ninfas de *G. brimblecombei* parasitadas por *P. bliteus* e por fungos em função do teor de clorofila (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG.....38

**LISTA DE TABELAS**

Página

Tabela 1. Modelos lineares generalizados (GLM) para avaliar o efeito da porcentagem de água do solo no CRA, o efeito do CRA no teor de clorofila, e o efeito do CRA e teor de clorofila na densidade média de ovos e ninhas de <i>G. brimblecombei</i> , na taxa de parasitismo de ninhas pelo parasitóide <i>P. bliteus</i> e por fungos em <i>E. camaldulensis</i> na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG (n= 60).....	39
--	----

**RESUMO – Efeito do estresse hídrico na qualidade nutricional de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae) e no ataque de *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae)**

JESUS, Fabiene Maria. Ms. Ciências Biológicas. Universidade Estadual de Montes Claros. Julho, 2009. Orientador: Dr. Maurício Lopes de Faria. Co-orientador: Dr. Mário Marcos do Espírito-Santo.

Este estudo teve por objetivo testar a hipótese do estresse de planta (HEP) no sistema composto pelo herbívoro *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) e pela planta *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae) no norte de Minas Gerais, Brasil. Desta hipótese derivou as predições: 1) Plantas em hábitats xéricos estão sob maior estresse hídrico que plantas em habitats mésicos; 2) Plantas estressadas hidricamente possuem melhor qualidade nutricional para herbívoros que plantas não estressadas 3) A densidade de ovos e ninhas de *G. brimblecombei* é maior em plantas estressadas hidricamente. Além disso, foi avaliado se as taxas de parasitismo de ninhas *G. brimblecombei* por parasitóides e fungos variam em função da qualidade nutricional dos indivíduos de *E. camaldulensis*. O estudo foi realizado de fevereiro a dezembro de 2008, em 60 indivíduos *E. camaldulensis* (30 em habitat xérico e 30 em habitat mésico), sendo as análises estatísticas realizadas no mês de agosto. Assim foi avaliada a porcentagem de água no solo e o conteúdo relativo de água (CRA) para verificar o estresse hídrico das plantas. Posteriormente, foi avaliada a qualidade nutricional dos indivíduos de *E. camaldulensis* através das medidas CRA e teor de clorofila das folhas. O ataque de *G. brimblecombei* foi determinado avaliando a densidade média de ovos e ninhas por cm<sup>2</sup> de folha. Os indivíduos de *E. camaldulensis* com menores porcentagens de água no solo apresentaram menores CRA. Nesse sistema o teor de clorofila das plantas foi significativamente influenciado pelo CRA das folhas. A densidade de ovos e ninhas de *G. brimblecombei* foi maior nos indivíduos com menor CRA e com menor teor de clorofila. Houve uma relação significativa entre a densidade media de ovos e ninhas de *G. brimblecombei* e a variável relacionada ao estresse hídrico das plantas, como prevido pela HEP. A taxa de parasitismo das ninhas pelo *P. bliteus* e por fungos também foi maior nas plantas estressadas hidricamente, indicando uma possível dependência da densidade de ninhas de *G. brimblecombei*. O parasitismo por fungos foi relacionado também com o teor de clorofila. Nossos resultados corroboram a HEP, sendo que qualidade nutricional da planta

hospedeira seria o fator regulador mais importante na determinação das taxas de ataque e de parasitismo do herbíboro nesse sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hipótese do estresse de planta, insetos herbívoros sugadores, eucalipto, psilídeo-de-concha.

**ABSTRACT- Effect of water stress in nutritional quality and in the attack of *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae)**

JESUS, Fabiene Maria. Ms. Ciências Biológicas. Universidade Estadual de Montes Claros. Julho, 2009. Orientador: Dr. Maurício Lopes de Faria. Co-orientador: Dr. Mário Marcos do Espírito-Santo.

This study aimed to test the plant stress hypothesis (PSH) in a system consisting of the herbivorous *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) and the plant *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae) in northern Minas Gerais, Brazil. From PSH, three predictions were derived: 1) Plants in xeric habitats are under greater water stress than plants in mesic habitats; 2) Plant water stress have better nutritional quality for herbivores than plants not stressed; 3) The density of eggs and nymphs of *G. brimblecombei* is greater water stress in plants. Furthermore, it was assessed whether the rates of parasitism of nymphs *G. brimblecombei* by parasitoids and fungi vary depending on the nutritional quality of individuals of *E. camaldulensis*. The study was conducted from February to December 2008, in 60 individuals *E. camaldulensis* (30 in xeric habitat and 30 in mesic habitat) and the statistical analysis conducted in the month of August. This was evaluated the percentage of soil water and water relative content (WRC) to verify the water stress in plants. It was subsequently evaluated the nutritional quality of individuals of *E. camaldulensis* through measures WRC and chlorophyll content of leaves. The attack of *G. brimblecombei* was determined considering the average density of eggs and nymphs per cm<sup>2</sup> of leaf. The individuals of *E. camaldulensis* with lower percentages of water in the soil showed lower WRC. In this system the chlorophyll content of plants was significantly influenced by the WRC of the leaves. The density of eggs and nymphs of *G. brimblecombei* was higher in individuals with lower WRC and lower chlorophyll content. There was a significant relationship between the average density of eggs and nymphs of *G. brimblecombei* and all variables related to water stress in plants, as predicted by the PSH. The rate of parasitism of nymphs by *P. bliteus* and fungi was also higher water stress in plants, indicating a possible dependence on the density of nymphs of *G. brimblecombei*. The parasitism by fungi was also related with the chlorophyll content. Our results corroborate the PSH, indicating that host

plant nutritional quality may be the most important regulatory factor in determining herbivore attack the rates and parasitism in this system.

**KEY WORDS:** Plant stress hypothesis, sap-feeding insect herbivores, eucalyptus, red gum lerp psyllid.

## **1. INTRODUÇÃO**

A herbivoria constitui uma interação entre plantas e diferentes organismos com importantes repercussões ecológicas e evolutivas (Coley & Barone 1996; Cornelissen & Fernandes 2001a). O papel da herbivoria tem sido destacado como a principal lacuna no entendimento ecológico (Agrawal *et al.* 2007). Para os insetos herbívoros, mudanças nas condições bióticas e abióticas que afetam a qualidade e quantidade dos recursos oferecidos pela planta hospedeira, resultam em uma grande variedade de interações e adaptações (White 1969; Coley *et al.* 1985). Dessa forma, para escapar das injúrias causadas por herbívoros, as plantas desenvolveram estratégias de defesa baseadas na presença de compostos químicos, barreiras mecânicas ou associações biológicas (Agrawal 2005; Cornelissen & Fernandes 2001b; Pais 1998). Por outro lado, os herbívoros evoluíram traços para circundar tais defesas (Becerra 2007).

Desde meados do século XX muitas hipóteses têm sido criadas incorporando as plantas investimentos diferenciais no crescimento ou na defesa química, a fim de tentar explicar altas taxas de ataque de insetos encontradas em algumas plantas e baixas em outras (Bryant *et al.* 1983; Coley *et al.* 1985; Basey & Jenkins 1993; Herms & Mattson 1992; Stamp 2003; Joern & Mole 2005). De fato, a intensidade da herbivoria depende de inúmeras características das plantas, incluindo a espessura da folha, a relação entre carbono-nutriente presente nos tecidos, a concentração de compostos secundários, o conteúdo de água contido nas plantas, dentre outros (Anderson & Angrell 2005; Kerslake *et al.* 1998; Roy *et al.* 1999; Schadler *et al.* 2007; Strauss 2004; Vergés *et al.* 2006).

No final da década de 60, estudos com o homóptero *Cardiaspina desintexta* (Taylor) mostraram que indivíduos de *Eucalyptus*, quando submetidas a um período de

estresse higrotérmico, se tornavam mais susceptíveis ao ataque pelo herbívoros. Neste contexto, surgiu a hipótese do estresse de planta (HEP) (White 1969). Esta hipótese propõe que plantas submetidas a algum grau de estresse, como altas temperaturas e baixa umidade, se tornam mais susceptíveis ao ataque de insetos herbívoros. Outra hipótese proposta para explicar a grande variação nos padrões de interação planta-herbívoro foi a hipótese da aparência da planta (Feeny 1976), na qual as defesas químicas das plantas passaram a ser incorporadas nessas interações. Outras hipóteses, notadamente a hipótese do balanço carbono-nutrientes (Bryant *et al.* 1983) e a hipótese da disponibilidade de recursos (Coley 1983, Coley *et al.* 1985) tratam do investimento diferencial pela planta no crescimento ou nas defesas (Herms & Mattson 1992). Segundo estas hipóteses, a qualidade e a disponibilidade de água e nutrientes no solo seriam os principais fatores determinantes do investimento diferencial em crescimento ou defesa das plantas (Coley 1983, Coley *et al.* 1985). O *trade-off* entre estas duas demandas afeta a qualidade nutricional da planta, que é um determinante crucial na dinâmica das populações de insetos herbívoros (De Bruyn 2002; Faria & Fernandes 2001; Horner & Abrahamson 1999; Loney 2006; Maddox & Cappuccino 1986; Preszler & Price 1995; Ruohomaki *et al.* 1996).

Entre todas as hipóteses estudadas, a hipótese do estresse de plantas tem ganhado destaque, uma vez que os mecanismos responsáveis pelo aumento da densidade de insetos em plantas estressadas não foram testados em muitos estudos e podem diferir dependendo da guilda alimentar do herbívoros, da duração e do tipo de estresse em que as plantas foram submetidas (Bjorkman 2000; Koricheva *et al.* 1998; Waring & Cobb 1992; Huberty & Denno 2004; Mody *et al.* 2009). De forma geral, esta alta susceptibilidade das plantas aos herbívoros resulta de mudanças na fisiologia das plantas hospedeiras, especificamente da disponibilidade de nitrogênio durante épocas de

prolongado estresse hídrico (White 1969). Uma vez que o nitrogênio é limitante para muitos herbívoros (Mattson 1980), White (1969, 1974, 1984) sugere que o aumento na concentração de nitrogênio solúvel na planta durante períodos de estresse hídrico/nutricional poderia resultar em um aumento no crescimento e reprodução de insetos fitófagos e promover uma explosão de sua população. Nesta perspectiva, a maioria dos estudos foi feita em condições naturais, indicando um aumento na densidade de insetos herbívoros em plantas hospedeiras estressadas pela seca (White 1969, 1974). Entretanto, desde a formulação da HEP, um aumento no número de estudos experimentais com o objetivo de testar essa hipótese tem trazido dúvidas sobre a extensão que esta predição tem alcançado (Larsson 1989; Mopper & Whitham 1992; Waring & Cobb 1992; Koricheva *et al.* 1998).

Durante o déficit hídrico, além de ocorrer um aumento na concentração de compostos nutricionais (Scheirs & De Bruyn 2005), pressão de turgor e diminuição do conteúdo de água (Hsiao 1973, Inbar *et al.* 2001), há uma elevação na quantidade de aleloquímicos (Mattson & Haack 1987a; Inbar *et al.* 2001) e uma redução no crescimento das plantas (Price & Clancy 1986; Price 1991). Todas essas alterações na planta hospedeira contribuem para elevar o potencial do nitrogênio livre para os insetos herbívoros, pois sob essas condições, muitas proteínas podem ser hidrolizadas resultando em um aumento no nível de aminoácidos livres (White 1984; Louda & Collige 1992). O nitrogênio disponível inclui aminoácidos, que podem ser absorvidos pelos insetos sem necessidade da digestão enzimática. Dessa forma, alguns insetos fitófagos se beneficiam de plantas hospedeiras estressadas hidricamente devido ao aumento de compostos nitrogenados livres (Wagner & Frantz 1990).

A HEP foi proposta primeiramente para explicar o ataque de psilídeos em eucalipto (White 1969) e posteriormente estendida para incluir o sistema inseto-planta,

tentando adequar padrões ecológicos (White 1984). Entretanto, devido a grande diversidade de insetos herbívoros existentes e a dieta particular de cada espécie, os mesmos fenômenos ecológicos podem se manifestar por meio de diferentes mecanismos fisiológicos ou nutricionais. Trabalhos têm demonstrado um aumento (Mattson & Haack 1987a), diminuição (Hale *et al.* 2005), pouco ou nenhum efeito (Staley *et al.* 2006) e simplesmente uma variação (Mopper & Whitham 1992) na densidade de insetos em resposta ao déficit hídrico, dependendo da espécie de planta e inseto estudado (Larsson 1989; Koricheva *et al.* 1998; Schowalter *et al.* 1999). Waring e Cobb (1992) em uma revisão reportaram que de 150 estudos com insetos herbívoros analisados, 68 a 75% responderam positivamente a plantas estressadas naturalmente, porém não ficou claro o padrão em que os herbívoros responderam as plantas estressadas artificialmente (51 a 99% dos casos). Larsson (1989) e Waring e Cobb (1992) sugeriram que uma generalização pode ser encontrada apenas em relação à guilda alimentar, sendo que a densidade do inseto aumenta em resposta ao aumento do estresse da planta na seguinte sequência: insetos sugadores > insetos minadores > insetos mastigadores > insetos galhadores.

Diferenças na periodicidade e na duração do estresse de plantas podem influenciar a interação entre a pressão de turgor e o nitrogênio disponível para os sugadores (Huberty & Denno 2004; Mody *et al.* 2009). É sugerido que a natureza do estresse hídrico possa explicar a falta de consenso entre os estudos observacionais, documentando os surtos de sugadores em plantas estressadas pela seca (White 1969; Braun & Fluckiger 1984) e a abundância de recentes dados experimentais demonstrando um padrão oposto (Bjorkman 2000; Inbar *et al.* 2001). Assim, a grande variação nos resultados de estudos que comparam a herbivoria com o estresse hídrico de plantas pode não ser devido à resposta da guilda alimentar do inseto e sim devido aos diferentes tipos

de estresse que as plantas foram submetidas. De fato, na maioria dos trabalhos o estresse hídrico causado pela seca foi comparado com outros estresses ambientais como: alagamento, poluição e sombreamento (Huberty & Denno 2004). Ou seja, pode ser que as mesmas guildas alimentares respondam diferentemente a vários tipos de estresse (Koricheva *et al.* 1998). Koricheva e colaboradores (1998) demonstraram que este foi o caso para a resposta dos insetos sugadores a plantas estressadas em uma meta-análise que incluiu 70 estudos experimentais.

Alternativamente, o aumento na densidade de insetos em certos períodos pode ser devido a efeitos diretos do ambiente sobre os insetos, como clima favorável ou simplesmente devido à diminuição na abundância de predadores e parasitas (Mattson & Haack 1987a). De fato, a variação da fauna de predadores e parasitóides nem sempre coincide com a dos herbívoros em determinadas áreas, provavelmente devido às inter-relações com a fauna associada às outras espécies vegetais (Pais 1998). Além disso, estudos têm demonstrado que a intensidade do estresse hídrico pode causar variações intraespecíficas na planta hospedeira que são relevantes para as interações planta-herbívoro em ambientes naturais e agricultáveis (Agrawal *et al.* 2006; Leimu & Koricheva 2006; Mody *et al.* 2007). Todos estes estudos têm contribuído significativamente para entendermos os efeitos do estresse de plantas na performance e na dinâmica populacional de insetos herbívoros. Porém é constante o desafio de testar a HEP no contexto que foi originalmente idealizada como estresse hídrico (White 1969).

Dessa forma, nosso estudo utilizou o sistema composto pelo herbívoro *G. brimblecombei* e pela planta hospedeira *E. camaldulensis*, uma espécie extremamente suscetível a este inseto. O gênero *Eucalyptus* (Myrtaceae) é originado da Austrália e foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XIX. Atualmente o Brasil tem a maior área plantada de *Eucalyptus* no mundo que se destina principalmente à produção

de papel, celulose, carvão vegetal e chapas de fibras (Ministério da Ciência e Tecnologia 2007). Além da semelhança taxonômica, a forma de plantio de eucalipto em monoculturas com áreas extensas e contíguas, cria um ambiente favorável à ocorrência e aumento de pragas e doenças, uma vez que apresentam uma quantidade concentrada de recursos de baixa variabilidade genética para os insetos associados (Firmino 2009; Zanuncio *et al.* 1998). Dessa forma, espera-se que o gasto energético de organismos que vivem em habitats homogêneos, como monoculturas, seja pequeno comparado àqueles que ocorrem em habitats nativos extremamente heterogêneos, como os cerrados e as florestas tropicais.

O psilídeo-de-concha é um inseto nativo da Austrália, pertencente à ordem Hemiptera, subordem Sternorrhyncha, família Psyllidae. De modo geral, os psilídeos alimentam-se da seiva das plantas hospedeiras e possuem grande preferência por brotações e folhas novas (Firmino 2009). O gênero *Glycaspis* apresenta alta diversidade contendo 127 espécies, a maioria associada à *Eucalyptus* spp. Os adultos de *G. brimblecombei* se caracterizam por se alimentarem somente de *Eucalyptus* e por apresentarem projeções que saem da parte anterior da cabeça, que são chamadas de cones genais (Dahlsten *et al.* 2003) (Figura 1A).

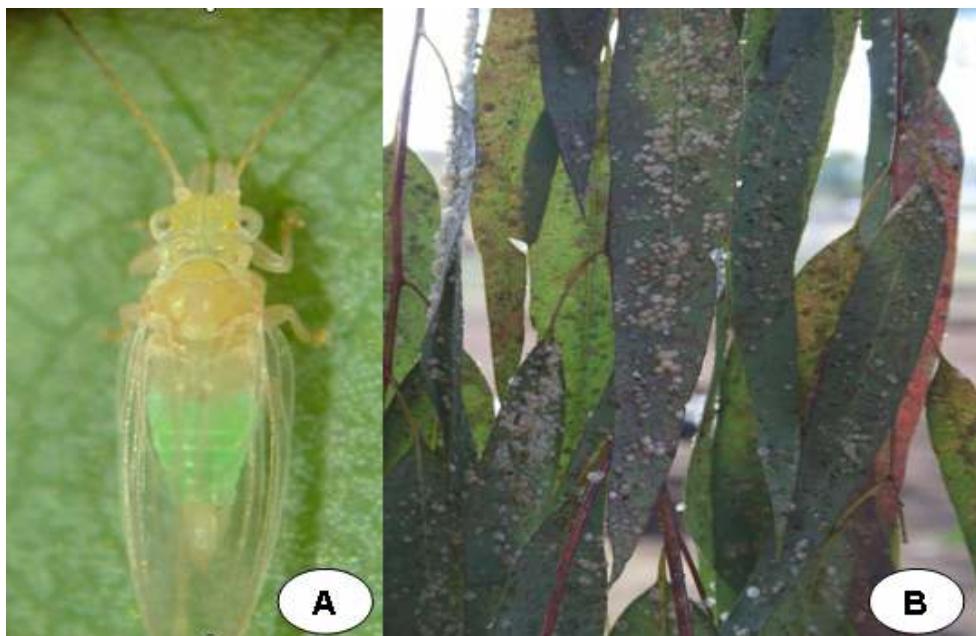
*Glycaspis brimblecombei* tem reprodução sexuada e cada fêmea ovoposita 45 a 700 ovos, preferencialmente em folhas e ramos novos (Firmino 2009; Favaro 2006). Seu ciclo de vida é composto pelas fases de ovo, ninfa (cinco estádios ninfais) e fase adulta. Os ovos são de coloração amarelo-alaranjada, brilhantes e de formato oval, sendo presos com o auxílio de um pedicelo à superfície da folha (Ramirez 2003; Sá & Wilcken 2004) (Figura 5A). As ninfas ecodem após um período embrionário de 12 a 22 dias e caminham sobre a folha, preferindo se fixar próximo às nervuras foliares, onde introduzem seus longos estiletes até atingirem os vasos com seiva (Dahlsten *et al.* 2003,

Firmino 2009). Após a alimentação inicial, as ninfas começam a eliminar excrementos líquidos, ricos em carboidratos, como uma forma de diminuir a pressão osmótica e eliminar o excesso de açúcares (Sánchez 2003; Hodkinson 1974). A partir da solidificação do exsudato açucarado “Honeydew”, as ninfas constroem uma cobertura protetora (a concha), que tem formato cônico e coloração branca (Sánchez 2003) (Figura 5BC). O nome psilídeo-de-concha é derivado desses pequenos cones brancos formados sobre as folhas.

O ciclo biológico de *G. brimblecombei* varia com as condições ambientais. Em laboratórios foi possível observar que o ciclo de vida completo deste inseto tem duração variável entre 26 a 57 dias, com várias gerações por ano, sobrevivendo em temperaturas médias de 16,5 e 22°C (Dahlsten *et al.* 2003, Firmino 2009; Wilcken *et al.* 2003).

Apesar de ter sido registrado no Brasil, pela primeira vez em junho de 2003, no município de Mogi Guaçu, SP (Wilcken *et al.* 2003), a ocorrência de *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemíptera, Psyllidae) também conhecido como psilídeo-de concha já foi registrada em dez estados brasileiros e em países como Estados Unidos, México e Argentina (Wilcken *et al.* 2003; Dahlsten *et al.* 2003; Sánchez 2003; Diodato & Venturini 2007).

O ataque de *G. brimblecombei* é notado preferencialmente em árvores de *Eucalyptus camaldulensis* (Figura 1B) e *E. tereticornis* (Paine *et al.* 2000). No Brasil tem-se observado ataque nas espécies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. urophylla* e em clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (“urograndis”) e *E. camaldulensis* x *E. urophylla* (Wilcken *et al.* 2003; Sá & Wilcken 2004; Oliveira 2007; Firmino 2009). O ataque desse inseto causa descoloração das folhas, indução ao aparecimento de fumagina, redução da área fotossintética, secamento dos ponteiros e atraso no crescimento das árvores hospedeiras (Wilcken *et al.* 2003; Firmino 2009).



**Figura 1.** Adulto do *G. brimblecombei* (A) e folhas de *E. camaldulensis* infestadas com conchas de *G. brimblecombei* (B).

Dessa forma, trabalhar com o estresse de plantas no manejo de altas densidades de pragas em agroecossistemas propicia uma oportunidade para o teste de uma hipótese ecológica em um sistema aplicado. De fato, a pesquisa é simultaneamente fundamental e aplicada, inspirada na curiosidade, mas baseada nas necessidades individuais e sociais, contribuindo para o avanço científico e econômico (Neto 2005). Assim, o objetivo deste estudo foi testar a hipótese do estresse de planta no sistema composto pelo herbívoroo *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) e pela planta *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae). Desta hipótese derivam três predições: 1) Plantas em habitats xéricos estão sob maior estresse hídrico que plantas em habitats mésicos; 2) Plantas estressadas hidricamente possuem melhor qualidade nutricional para herbívoros que plantas não estressadas 3) A densidade de ovos e ninfas de *G. brimblecombei* é maior em plantas estressadas hidricamente. Além disso, foi avaliado se as taxas de

parasitismo de ninfas *G. brimblecombei* por parasitóides e fungos variam em função da qualidade nutricional dos indivíduos de *E. camaldulensis*.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Área de Estudo**

O experimento de campo foi realizado nos meses de fevereiro a dezembro de 2008, na Fazenda Extrema, de propriedade da empresa Vallourec & Mannesman Florestal (V&M), localizada no município de Olhos D'água, norte de Minas Gerais, ( $17^{\circ} 15' S$ ,  $43^{\circ} 39' W$ ), a 880 m acima do nível do mar (Souza-Silva *et al.* 2006). A fazenda possui uma área total de 9.655,61 ha, sendo que 6.597,72 ha são plantações de eucalipto e 1.884,22 ha são área coberta predominantemente por remanescentes de cerrado. O clima da região é tropical de inverno seco (tipo Aw de Köppen), com temperatura média anual em torno de 24°C e precipitação média anual de 1246 mm.

### **2.2. Desenho experimental**

Na área de estudo foram selecionados seis habitats (três xéricos e três mésicos), povoados por *E. camaldulensis* (Figura 2A, B). Os habitats xéricos distantes em média mais de 4000 metros de qualquer curso d'água, e os habitats mésicos situados próximos a um curso d'água (média de 10 metros), totalizando 60 indivíduos de *E. camaldulensis* (Figura 4).

As amostras foram realizadas no período de fevereiro a dezembro de 2008. A partir de observações e análises preliminares foi escolhido o mês de agosto para testar as três previsões derivadas da hipótese do estresse de plantas e as variações nas taxas de parasitismo. Neste mês foi observado o maior índice de estresse nos indivíduos de *E. camaldulensis* e um pico no ataque do herbívoro, *G. brimblecombei*, por isso a escolha do mês de agosto.



**Figura 2.** H abitats x erico (A) e m esico (B) amostrados durante o estudo, Fazenda Extrema da V & M Florestal, Olhos D'Agua, Minas Gerais.

## **2.3. Amostragem**

### **2.3.1. Predição 1: Plantas em habitats xéricos estão sob maior estresse hídrico que plantas em habitats mésicos.**

Os habitats xéricos e mésicos descritos nessa predição foram definidos primeiramente pelo critério, distância de um recurso hídrico, e representados posteriormente pela quantidade de água encontrada na base de cada planta em ambos os habitats. Essa porcentagem de água no solo foi determinada através da curva de secagem de duas amostras coletadas a 20 e 40 cm de profundidade, na base de cada planta (Figura 3A). No laboratório as amostras de solo foram pesadas, secas em estufa a 70°C por 48 horas e em seguida, repesadas até a obter a curva de secagem.

O conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de *E. camaldulensis* (Figura 3B) foi obtido de amostras realizadas às 09:00 e 14:00 horas, sendo dois grupos distintos de amostragens. O CRA foi obtido a partir da amostragem de cinco folhas/ planta, coletados dos ramos mais baixos de cada planta, das quais foram retirados 15 discos de 0,5 cm de diâmetro com o auxílio de um vasador (três discos por folha). Os discos foram rapidamente colocados em vidros hermeticamente fechados e levados ao laboratório, onde tiveram sua massa fresca aferida em balança de precisão, na condição de massa verde (Mv). Após um período de 24 horas em água destilada para permitir a hidratação do tecido foi obtida a massa túrgida. A massa seca foi determinada colocando os discos em papel alumínio e levando-os em estufa regulada a 80° C por 48 horas até obter a massa seca constante, através da curva de secagem. Dessa forma foram

obtidas a massa verde (Mv), massa túrgida (Mt) e massa seca (Ms) dos discos. O CRA (%) foi determinado através da equação (Wertherley 1950):

$$CRA(\%) = \frac{Mv - Ms}{Mt - Ms} \times 100$$

### **2.3.2. Predição 2: Plantas estressadas hidricamente possuem melhor qualidade nutricional que plantas não estressadas.**

Nessa predição, a qualidade nutricional das plantas foi avaliada através do teor de clorofila (Nitrogênio total) encontrado nas folhas de *E. camaldulensis* medidas sob diferentes níveis de CRA. Dessa forma, o teor de clorofila foi obtido a partir do clorofilômetro manual SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta) (Figura 3C). As leituras do teor de clorofila foram realizadas em quatro pontos de cada 10 folhas, retiradas de um ramo mais baixo da planta. O clorofilômetro determina o conteúdo de clorofila nas folhas e permite estimar o estado nutricional de uma cultura, uma vez que o teor de clorofila da folha também se correlaciona positivamente com o teor de nitrogênio da planta (Argenta *et al.* 2001). Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo em excesso de N pela planta, a medição efetuada pelo medidor de clorofila está sendo considerada melhor indicadora do nível deste nutriente na planta do que seu teor (Blackmer & Schepers 1995). Vários estudos ilustram altas correlações entre as leituras de clorofilômetros manuais e as concentrações de N foliar (Malavolta *et al.* 2004; Neves *et al.* 2005).



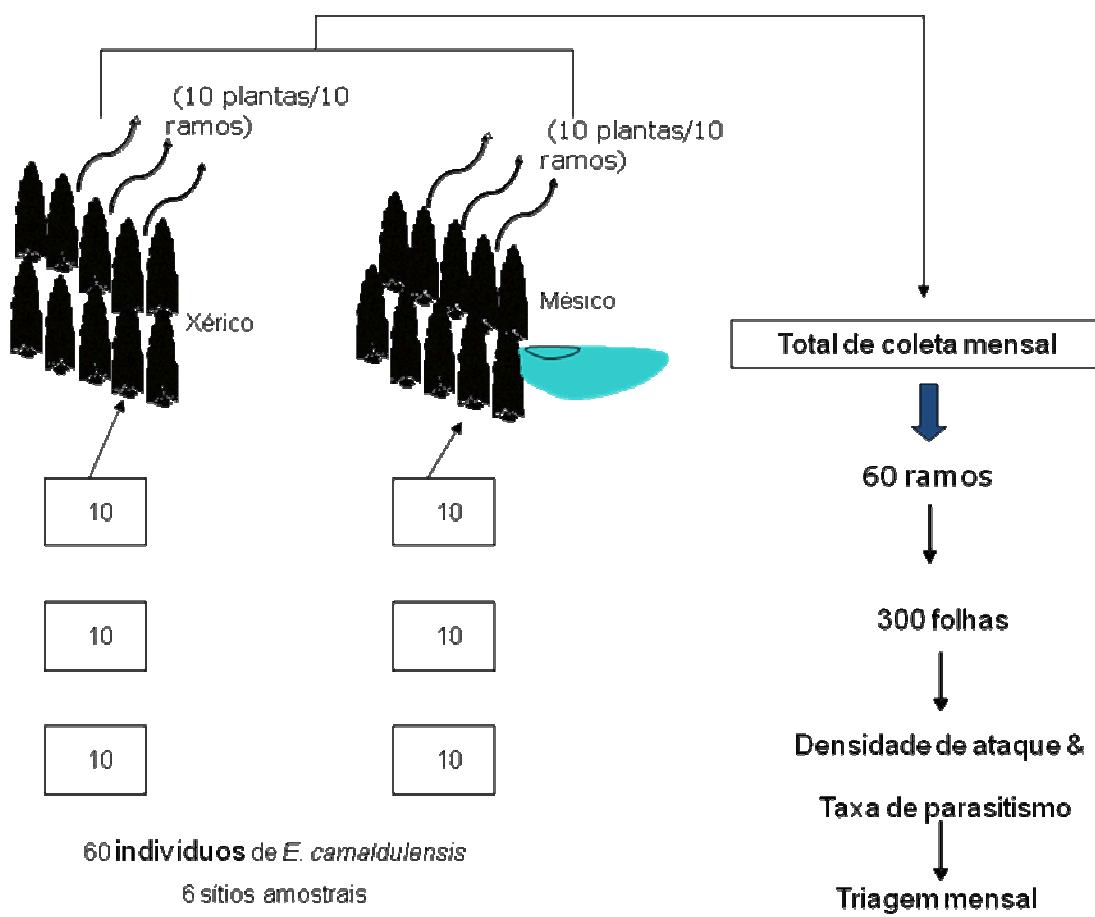
**Figura 3.** Amostra do solo para medida da porcentagem de água (**A**); retirada de discos de folhas de *E. camaldulensis* para medir o CRA (**B**); medição do teor de clorofila a partir do clorofilômetro manual SPAD-502 (**C**).

### 2.3.2. Predição 3: A densidade de ovos e ninfas de *G. brimblecombei* é maior em plantas estressadas hidricamente.

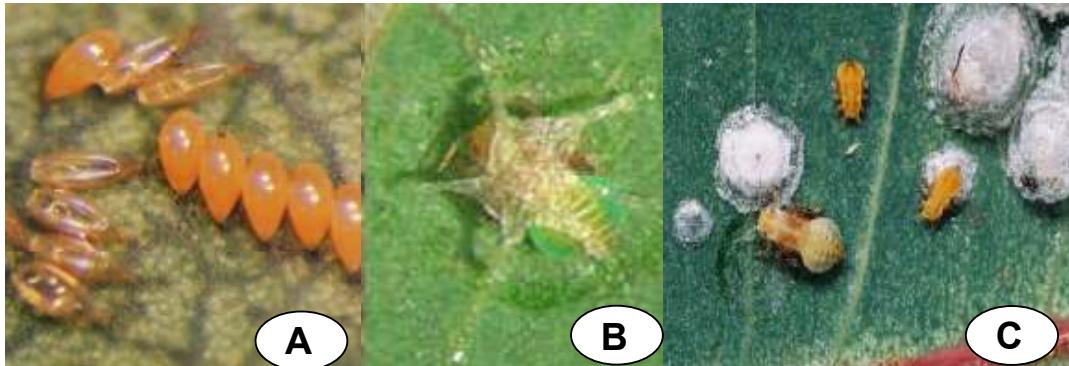
O ataque de *G. brimblecombei* foi avaliado em todo o período amostral (fevereiro a dezembro de 2008), no entanto, para o teste dessa terceira predição foram obtidas amostras de folhas de *E. camaldulensis* nos habitats xéricos e mésicos no mês de agosto. Foi coletado um ramo de cada uma das 60 plantas (30 em cada habitat), com o auxílio de uma tesoura de poda, acoplada a uma haste de alumínio de 6,0 metros de comprimento (Figura 4). Em seguida os ramos foram armazenados em sacos plásticos identificados e conduzidos ao Laboratório de Biologia da Conservação da UNIMONTES, onde foram acondicionados em freezer, a fim de reduzir o ressecamento das folhas até o momento da avaliação.

De cada ramo, foram escolhidas ao acaso cinco folhas, nas quais foram quantificados ovos inteiros, eclodidos e ninfas de *G. brimblecombei* separadas por estádios ninfais (1º, 2º, 3º, 4º e 5º ínstares) (Figura 5 BC). As avaliações foram feitas nas faces abaxial e adaxial das folhas. A contagem foi realizada com microscópio

esteroscópico (10x). Posteriormente, as folhas foram digitalizadas e com o auxílio do software ImageJ (Rasband 2006), foi realizada a determinação da área foliar para posterior cálculo da densidade de ovos e ninfas de *G. brimblecombei* por cm<sup>2</sup> de folha. Por fim, para quantificar o ataque de *G. brimblecombei*, foi calculada a densidade média de ovos e ninfas por planta.



**Figura 4.** Esquema da metodologia aplicada na amostragem dos indivíduos de *E. camaldulensis* no campo e na triagem do material.



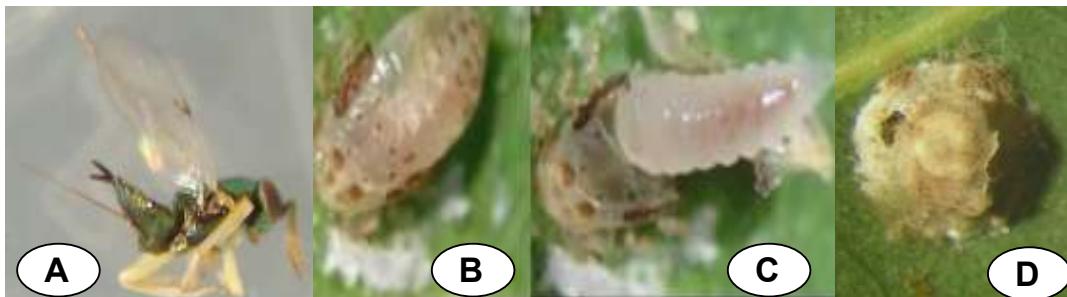
**Figura 5.** Ovos eclodidos e inteiros de *G. brimblecombei* (A); ninfa de *G. brimblecombei* construindo a concha (B); ninfas e conchas de *G. brimblecombei* (C).

Fonte: Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP – Botucatu-SP.

### 2.3.3. Taxa de parasitismo: As taxas de parasitismo de ninfas de *G. brimblecombei* por parasitóides e fungos variam em função da qualidade nutricional de indivíduos de *E. camaldulensis*.

A taxa de parasitismo foi avaliada nas mesmas cinco folhas (superfícies abaxial e adaxial) retiradas de cada ramo para a avaliação da densidade de ataque. Foi feita a contagem do número de ninfas parasitadas (3º, 4º e 5º instares) pelo *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae) (Figura 6ABC), já que esse parasitóide não ataca ninfas de 1º e 2º instares, e do número de mûmias vazias (após a emergência dos adultos do parasitóide). Também foram contabilizadas as ninfas parasitadas por fungos (Figura 6D), porém não houve a distinção do estádio ninfal, uma vez que não era possível essa identificação. Por fim, para determinar a taxa de parasitismo pelo *P. bliteus*, o total de ninfas parasitadas encontradas foi dividido pelo total de ninfas encontrado nas folhas de *E. camaldulensis*, e multiplicado por 100. Esse procedimento

foi realizado em todo período amostral, porém as análises estatísticas foram feitas apenas do mês de agosto, como justificado anteriormente.



**Figura 6.** Adulto do *P. bliteus* (A); ninfas de *G. brimblecombei* com aspecto mumificado devido ao parasitismo por *P. bliteus* (B); larva de *P. bliteus* (C); concha de *G. brimblecombei* parasitada por fungos (D). Fonte: Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP – Botucatu-SP.

#### 2.4. Análises Estatísticas

Para a análise estatística de todas as previsões foram construídos modelos lineares generalizados (GLM) (Crawley 2002). Para avaliar o estresse hídrico dos indivíduos de *E. camaldulensis* foi ajustado um GLM, com distribuição de erros quase-binomial. Nesse modelo, a variável resposta foi o CRA e a variável explicativa a porcentagem de água no solo ( $CRA \sim$  Porcentagem de água no solo). Para o modelo do efeito do déficit hídrico na qualidade nutricional das plantas foi utilizado uma distribuição de erros normal (Teor de clorofila  $\sim$  CRA), tendo como variável resposta o teor de clorofila e como variável explicativa o CRA.

Para avaliar o efeito da qualidade nutricional na densidade de *G. brimblecombei* foram ajustados GLMs, com distribuição de erros normal (Densidade média de ovos e Densidade média de ninfas  $\sim$  Teor de clorofila\*CRA). As variáveis respostas foram a

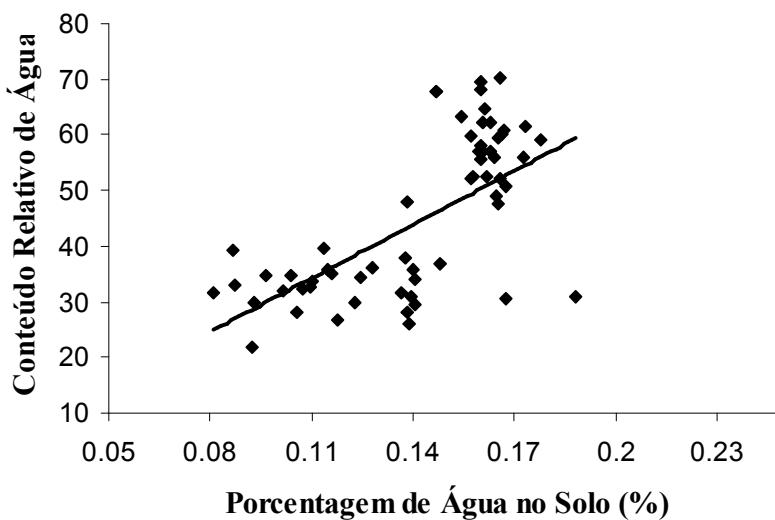
densidade média de ovos e a densidade média de ninfas de *G. brimblecombei* e as variáveis explicativas foram o CRA e o teor de clorofila.

Para verificar o efeito da qualidade nutricional da planta na proporção de ninfas de *G. brimblecombei* parasitadas pelo *P. bliteus* e por fungos, foram ajustados modelos com distribuição de erros quase-binomial (Taxa de parasitismo por *P. bliteus* e por fungos ~ teor de clorofila \*CRA). As variáveis explicativas foram o CRA e o teor de clorofila e as variáveis respostas foram a taxa de parasitismo por *P. bliteus* e a taxa de parasitismo por fungos.

Todos os modelos foram simplificados retirando-se as interações não significativas, obtendo-se assim o Modelo Mínimo Adequado (MMA). Por fim, para verificar o ajuste dos modelos foram realizadas análises de resíduo. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R 2.6.2 (R Development Core Team 2008).

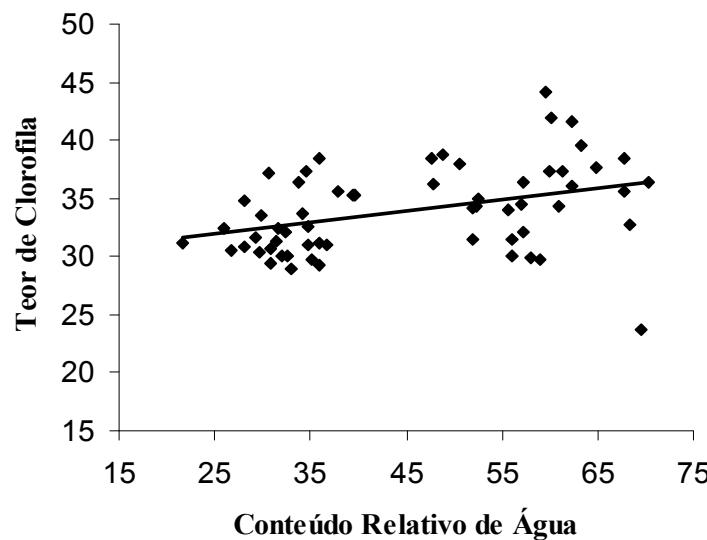
### **3. RESULTADOS**

Durante o estudo, a porcentagem de água do solo diferiu entre os habitats, com uma média de 11 e 16% nos habitats xérico e mésico, respectivamente. Assim os indivíduos de *E. camaldulensis* com menores porcentagens de água no solo (habitat xérico) apresentaram menores CRA quando comparados aos indivíduos com maiores porcentagens de água no solo (habitat mésico) (Tabela 1, Figura 7).



**Figura 7.** Conteúdo relativo de água (%) (CRA) em indivíduos de *E. camaldulensis* em função da porcentagem de água no solo (hábitats xérico e mésico), (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.

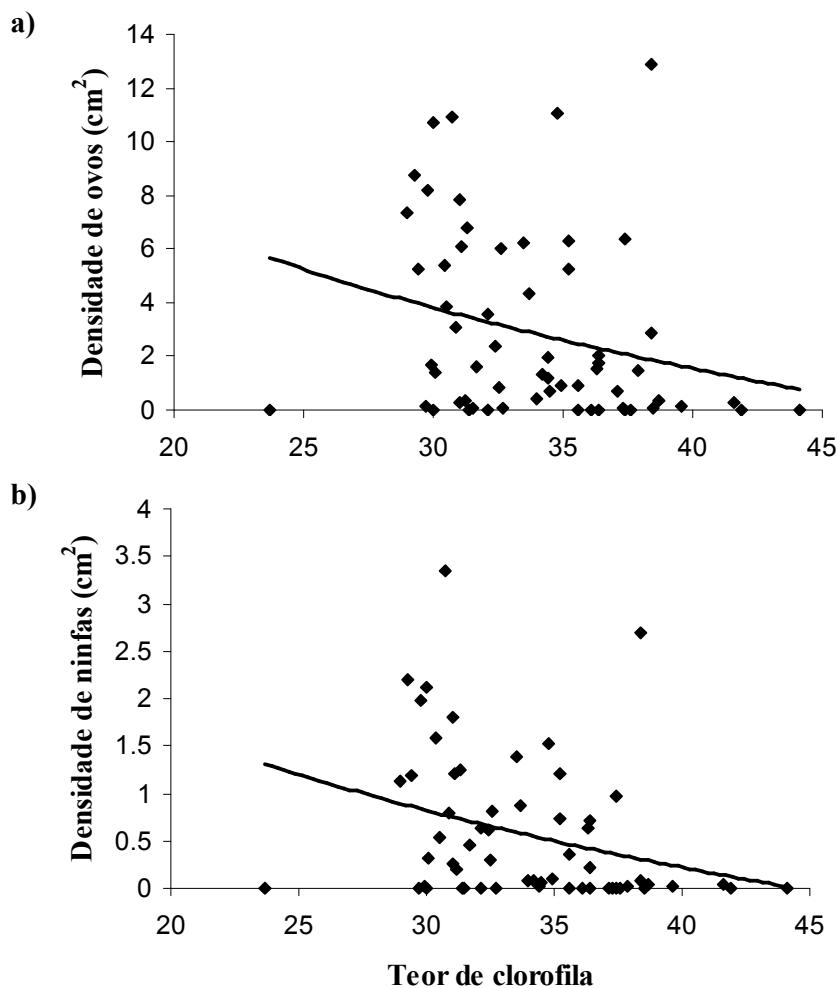
O teor de clorofila foi significativamente influenciado pelo CRA encontrado nos indivíduos de *E. camaldulensis* (Tabela 1, Figura 8). Os menores valores de teor de clorofila foram encontrados nos indivíduos com menor CRA.



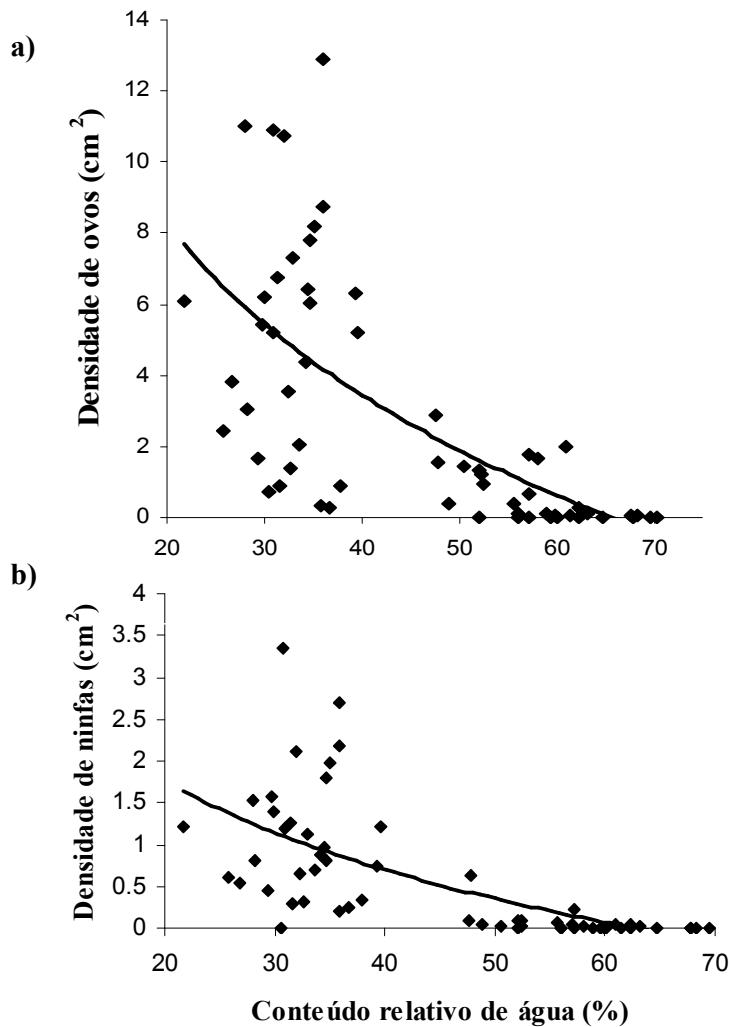
**Figura 8.** Teor de clorofila em indivíduos de *E. camaldulensis* em função do conteúdo relativo de água (%) (CRA) (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.

Durante os onze meses de estudo foram avaliadas 3.300 folhas de *E. camaldulensis*, onde foi encontrado um total de 308.833 ovos e 36.730 ninhas de *G. brimblecombei*. Desse total, 273.571 ovos e 35.653 ninhas foram encontrados no hábitat xérico, o que corresponde a aproximadamente 88% do total de ovos e 97% do total de ninhas. No hábitat mésico foram encontrados apenas 35.262 ovos e 1.075 ninhas do total encontrado nos dois habitats. No mês de agosto foi registrado um pico no ataque do herbívoro, sendo contabilizados 64.482 ovos e 12.132 ninhas nos dois habitats, esse resultado é maior que o total de ovos e ninhas encontrado no hábitat mésico (indivíduos com menores porcentagens de água no solo) durante todos os meses. Nos meses seguintes (setembro e outubro) houve uma queda no ataque de *G. brimblecombei* (setembro: 43.433 ovos e 7.563 ninhas e outubro: 13.795 e 678 ninhas).

Foi encontrada uma relação significativa entre a densidade média de ovos e de ninhas de *G. brimblecombei* com as variáveis relacionadas ao estresse hídrico (CRA) e qualidade nutricional (teor de clorofila) (Tabela 1). A densidade de ovos e ninhas de *G. brimblecombei* foi maior nos indivíduos com menor conteúdo de água nas folhas e com menor teor de clorofila, como demonstrado nos resultados da análise do mês de agosto (Tabela 1, Figuras 9 e 10). Os indivíduos de *E. camaldulensis* estressados hidricamente foram mais susceptíveis ao ataque de *G. brimblecombei* quando comparados aos indivíduos em condições hídricas aparentemente normais, apresentando maior densidade média de ovos e ninhas (Figura 10).



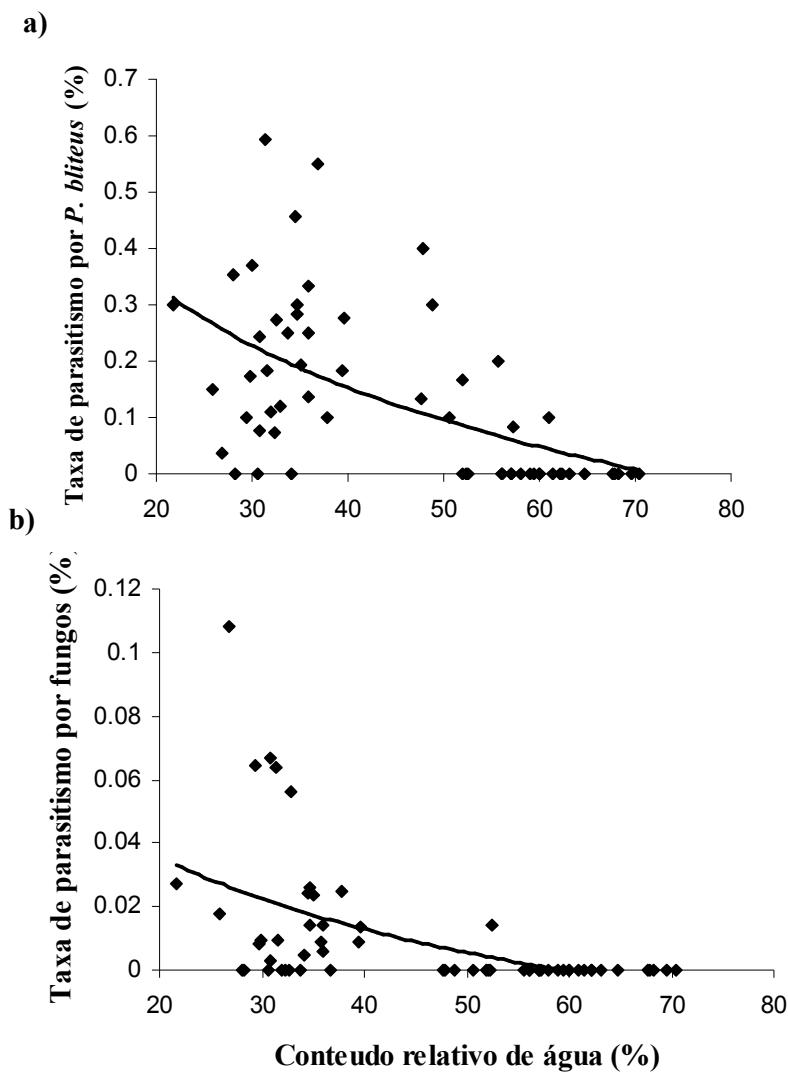
**Figura 9.** Densidade média de ovos (a) e densidade média de ninfas (b) em indivíduos de *E. camaldulensis* em função do teor de clorofila (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.



**Figura 10.** Densidade média de ovos (a) e densidade média de ninfas (b) em indivíduos de *E. camaldulensis* em função do CRA ( $n= 60$ ), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.

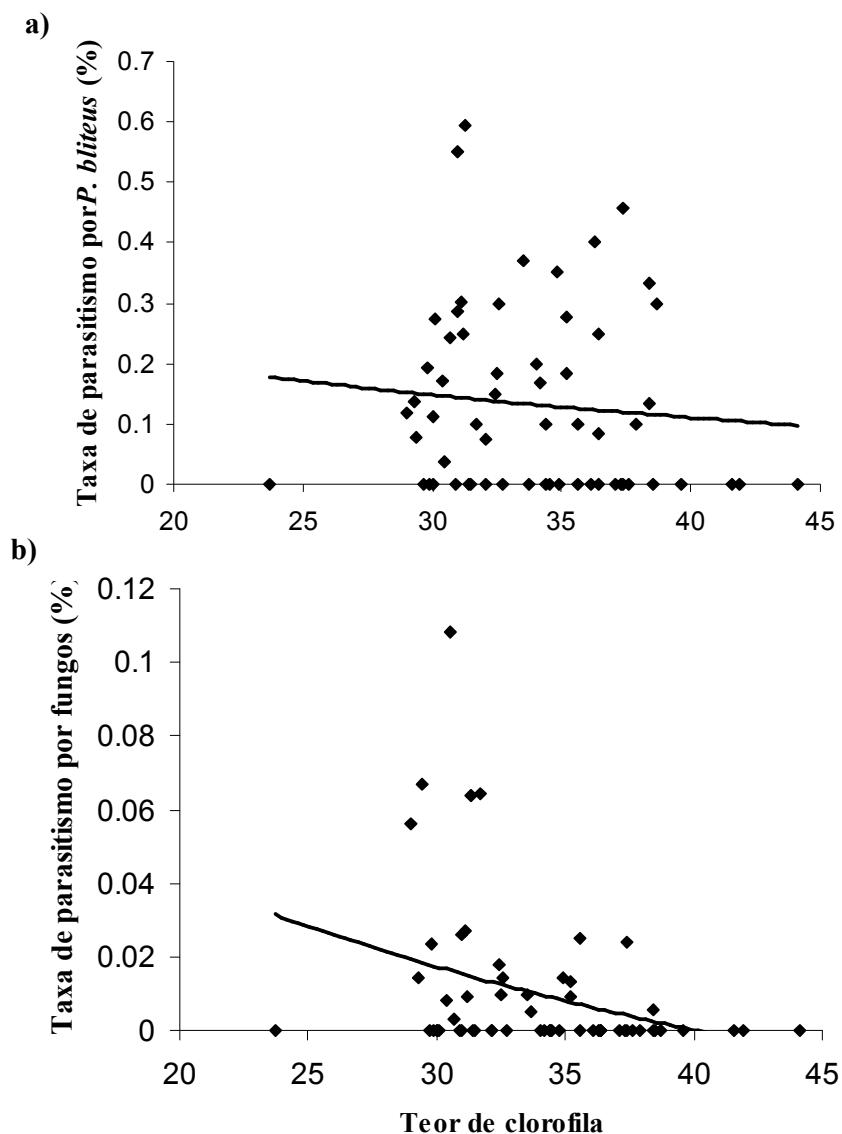
Em todo período amostral, a taxa total de parasitismo das ninfas de *G. brimblecombei* por *P. bliteus* encontrada foi de aproximadamente 2,5%. Já a taxa total de parasitismo por fungos (não identificados) foi de 10%. As taxas de parasitismo por *P. bliteus* foram maiores nos indivíduos com menores CRA, correspondendo com os indivíduos em que a densidade de ninfas de *G. brimblecombei* também foi maior

(Tabela 1, Figuras 10 e 11). A taxa de parasitismo por *P. bliteus* não variou significativamente em relação ao teor de clorofila (Tabela 1, Figuras 12).



**Figura 11.** Proporção de ninfas de *G. brimblecombei* parasitadas por *P. bliteus* e por fungos em função do CRA ( $n= 60$ ), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.

A variação no ataque das ninfas de *G. brimblecombei* por fungos diferiu significativamente entre os indivíduos de *E. camaldulensis* em relação ao estresse hídrico (CRA) e teor de clorofila (Tabela 1, Figura 11 e 12).



**Figura 12.** Proporção de ninfas de *G. brimblecombei* parasitadas por *P. bliteus* e por fungos em função do teor de clorofila (n= 60), na Fazenda Extrema, Olhos D’água, MG.

**Tabela 1.** Modelos lineares generalizados (GLM) para avaliar o efeito da porcentagem de água do solo no CRA, o efeito do CRA no teor de clorofila, e o efeito do CRA e teor de clorofila na densidade média de ovos e ninhas de *G. brimblecombei*, na taxa de parasitismo de ninhas pelo parasitóide *P. bliteus* e por fungos em *E. camaldulensis* na Fazenda Extrema, Olhos D'água, MG (n= 60).

	Variáveis respostas	Variáveis explicativas	Distribuição de Erro	GL	Deviance	Residual GL	Residual Deviance	F	P
CRA	% água no Solo	Modelo Nulo	Quasi-binomial	1	2.3106	59	4.9178	(*)	<0,0001
Teor de Clorofila		Modelo Nulo CRA	Normal	1	115.81	59	839.15		
Densidade de Ovos		Modelo Nulo				59	699.96		
	Teor de Clorofila CRA	Teor de Clorofila CRA	Normal	1	49.31	58	650.65	7.096	0.0100
Densidade de Ninhas		Modelo Nulo				59	34.938		
	Teor de Clorofila CRA	Teor de Clorofila CRA	Normal	1	3.371	58	31.568	9.6865	0.0029
Taxa de Parasitismo por <i>P. bliteus</i>		Modelo Nulo				59	12.9152		
	Teor de Clorofila CRA	Teor de Clorofila CRA	Quasi-binomial	1	0.1546	58	12.7606	(*)	0.2916
Taxa de Parasitismo por fungos		Modelo Nulo				59	1.69142		
	Teor de Clorofila CRA	Teor de Clorofila CRA	Quasi-binomial	1	0.28087	58	1.41055	(*)	0.0000
		Quasi-binomial		1	0.58817	57	0.82239	(*)	<0,0001

(\*)= modelos que utilizaram o teste “qui-quadrado” só apresentam o valor de P.

#### **4. DISCUSSÃO**

Os indivíduos distantes da água (habitat xérico) apresentaram maior déficit hídrico quando comparados aos indivíduos próximos à água (habitat mésico). A maioria das plantas responde de forma semelhante às mudanças na intensidade do estresse hídrico: à medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água do solo devido ao aumento na força de retenção (Santos & Carlesso 1998). Assim, as plantas entram em déficit hídrico, e consequentemente ocorre o estresse fisiológico nos tecidos das plantas alterando sua palatabilidade aos insetos herbívoros por induzir mudanças químicas e aumentar os níveis de aminoácidos e açúcares livres nos tecidos da planta (Louda & Collige 1992; Scheirs & De Bruyn 2005; Hale *et al.* 2005), beneficiando os herbívoros que dela se alimentam, como primeiramente descrito por White (1969) na hipótese do estresse de plantas. Dessa forma, um plantio aparentemente homogêneo de *E. camaldulensis* pode ser bastante diferente em qualidade nutricional para o *G. brimblecombei*.

O estresse hídrico observado nos indivíduos de *E. camaldulensis* levou a maiores taxas de ataque do herbívooro *G. brimblecombei* devido ao grande aumento na sobrevivência da forma jovem do inseto (ninfas), como sugere a hipótese do estresse de plantas (White 1969, 1974, 2009; Larsson 1989). Por esta hipótese, a qualidade nutricional da planta seria o fator regulador mais importante das taxas de ataque do herbívooro nesse sistema. Stone e Bacon (1994) trabalhando com plantas de *E. camaldulensis* estressadas hidricamente também encontraram uma relação significativa entre estresse hídrico e insetos herbívoros. No entanto, o aumento dos insetos herbívoros observado no estudo de Stone e Bacon (1994) não foi relacionado com as mudanças nutricionais das plantas, e sim com a disponibilidade de recursos. Os indivíduos de *E. camaldulensis* que apresentaram folhas pequenas e abundantes

sustentaram maior quantidade de herbívoros e menor concentração de aleloquímicos. De fato, essa relação depende da resposta individual de cada espécie de planta ao estresse, e principalmente da habilidade de cada espécie de inseto herbívoros em responder às mudanças químicas e nutricionais que ocorrem na planta hospedeira (De Bruyn *et al.* 2002; White 2009).

Neste estudo, os indivíduos de *E. camaldulensis* estressados hidricamente apresentaram menor concentração de clorofila foliar. Este resultado corroborou com outros estudos que encontraram uma redução na concentração de clorofila em plantas sob déficit hídrico (Carter & Knapp 2001; Scheirs & De Bruyn 2005). No entanto, a medida de clorofila nesse estudo teve como objetivo principal indicar a quantidade de nitrogênio total disponível nas folhas de *E. camaldulensis*, uma vez que a maior parte do nitrogênio foliar está contida nas moléculas de clorofila, e há uma estreita relação entre o nitrogênio foliar e o conteúdo de clorofila (Argenta *et al.* 2001). Portanto, é possível inferir que o valor de nitrogênio total encontrado foi menor nas plantas sob déficit hídrico quando comparado com as plantas em condições hídricas normais. Entretanto, plantas sob estresse hídrico podem diminuir os níveis de nitrogênio total e, em contrapartida aumentar algumas formas de aminoácidos livres que ficam disponíveis para os insetos herbívoros (White 1984; Louda & Collige 1992). Neste estudo não ficou claro o efeito do estresse hídrico no aumento de quantidades de nutrientes no floema dos indivíduos de *E. camaldulensis* estudados. Porém, isso não impede uma extensão desse estudo para determinar os vários níveis de compostos solúveis nitrogenados, já que as alterações nesses nutrientes, causadas por respostas fisiológicas da planta sob estresse hídrico, podem influenciar o sucesso de insetos sugadores (White 1969, 2009).

Estudos demonstram que plantas sob estresse hídrico intermitente sofrem um restabelecimento esporádico positivo da pressão de turgor, associada com períodos de

aumento de nitrogênio livre disponível, promovendo assim um grande aumento na população dos insetos herbívoros associados (Mattson 1980; Huberty & Denno 2004; Mody *et al.* 2009). Estes resultados estão de acordo com outros estudos realizados com insetos sugadores em plantas estressadas hidricamente em condições naturais (Waring & Cobb 1992). Em nosso estudo, não podemos afirmar que houve o estresse hídrico intermitente nos indivíduos de *E. camaldulensis*. Entretanto, foram observadas variações na densidade média de ovos e ninfas de *G. brimblecombei* encontradas em folhas de *E. camaldulensis* ao longo dos meses amostrados à medida que variava a intensidade do estresse. Houve um pico no ataque do herbívoro, coincidindo com o mês em que as plantas atingiram um maior déficit hídrico, no entanto, ao persistir o estresse hídrico (setembro e outubro) a densidade média de ovos e ninfas do herbívoro tendeu a diminuir. Isso parece indicar que a intensidade do estresse hídrico, durante o período amostral, não permitiram que os indivíduos de *E. camaldulensis* estressados hidricamente mantivessem uma boa qualidade nutricional durante tempo suficiente para sustentar uma elevada taxa de sobrevivência através de sucessivas gerações de *G. brimblecombei*. De fato, se o turgor do floema estiver abaixo de certo limiar, devido a persistência do estresse hídrico, os insetos sugadores ficam incapazes de acessar o nitrogênio disponível, mesmo que sua concentração esteja aumentada devido ao estresse hídrico (Archer *et al.* 1995). Tudo isso, parece ter comprometido a preferência pela oviposição das fêmeas e a sobrevivência das ninfas de *G. brimblecombei* nas plantas estressadas hidricamente.

Mopper e Whitham (1992) sugeriram que somente o estresse moderado da planta, sustentado a longo prazo pode resultar em aumento na população dos herbívoros em resposta a níveis moderados de estresse. Por isso, além do efeito da seca na preferência e performance de insetos herbívoros (Larsson 1989; Koricheva *et al.* 1998;

Huberty & Denno 2004), a duração do estresse hídrico intermitente e a longo prazo precisam ser avaliados nessa interação.

A diferença no estresse hídrico e nutricional em que estavam submetidos os indivíduos de *E. camaldulensis* nesse estudo pode ser um dos fatores que provocaram variações na preferência e performance do herbívoro *G. brimblecombei*. Foi observada uma alta oviposição das fêmeas de *G. brimblecombei* em plantas de *E. camaldulensis* estressadas hidricamente. A alta performance do herbívoro foi observada pelo sucesso no desenvolvimento das ninhas no local onde ocorreu maior oviposição das fêmeas, podendo ser considerado um produto da seleção destas plantas pelo inseto. Assim os fatores que identificam a qualidade nutricional do alimento para a fêmea, também estimulam a oviposição e, consequentemente, a fêmea seleciona locais de melhor qualidade nutricional. A ligação entre preferência e performance tem sido suportada em alguns estudos (Craig *et al.* 1989; Price 1991), apesar de refutada em outros (Craig *et al.* 2000; Scheirs *et al.* 2000).

Estudo envolvendo plantas estressadas pela seca descarta o envolvimento de predadores e parasitóides na dinâmica das erupções de psilídeos (White 1984). Nossos resultados mostram as maiores taxas de parasitismo pelo *P. bliteus* encontradas nas plantas estressadas hidricamente, onde também foi encontrado maior ataque do herbívoro *G. brimblecombei*. As maiores taxas de parasitismo não seria esperado em habitats xéricos (Fernandes & Price 1992), onde as condições são mais severas, em termos de temperatura e umidade e os parasitóides tendem a permanecer menos tempo nas plantas a procura de sítios para oviposição (Faria 2002). Entretanto, a porcentagem de parasitismo foi maior nos indivíduos de *E. camaldulensis* estressados hidricamente (habitat xérico), uma vez que neste habitat foi encontrada maior densidade de ninhas de *G. brimblecombei*. Assim, as taxas de ataque do parasitóide observadas neste estudo

foram resultantes de um balanço entre as oportunidades de ataque encontradas em cada habitat e as condições hídricas e nutricionais da planta hospedeira que determinou a abundância de ninfas e a velocidade com estas se desenvolveram.

A taxa total de parasitismo das ninfas de *G. brimblecombei* por *P. bliteus* encontrada em todo o período amostral (2,5%) é bem contrastante com os resultados encontrados por Murta (2007) que encontrou uma taxa de parasitismo de 33,7% com esse mesmo sistema na região de Bom Despacho-MG. No México e nos Estados Unidos, tem-se encontrado altas taxas de parasitismo pelo *P. bliteus*, ao redor de 7 a 90%, devido principalmente à adaptação às condições locais e as quantidades de parasitóides liberados por área (Paine *et al.* 2000; Sá & Wilcken 2004). Entretanto, na mesma região do nosso estudo a taxa de parasitismo encontrada por Oliveira (2007) foi relativamente baixa (7,9%) se comparada aos estudos citados acima. É possível que *P. bliteus* não tenha se adaptado completamente ou não seja tão eficiente sob as condições bióticas e abióticas referidas nesse estudo. De fato a performance ótima desse parasitóide em condições laboratoriais é observada a uma temperatura de 24°C e umidade de 65% (Daane *et al.* 2005), condições bem distintas da encontrada nessa região norte de Minas Gerais marcada pela seca.

A taxa de parasitismo total por fungos (10%) foi maior que o parasitismo pelo *P. bliteus* (2,5%), no entanto, a taxa de parasitismo por fungos também foi maior em indivíduos de *E. camaldulensis* estressados hidricamente, o que parece indicar uma dependência da densidade temporal de ninfas de *G. brimblecombei*. Alguns estudos atribuem o aumento de fungos a efeitos abióticos como a pluviosidade e umidade, uma vez que umidade pode ter efeitos indiretos mais lentos, favorecendo a ocorrência de fungos entomopatogênicos. Favaro (2006) registrou que grande parte da redução populacional de *G. brimblecombei* no período chuvoso se deve à ação destes

microrganismos. Porém, esses resultados não se confirmaram claramente em nosso estudo.

Em uma visão mais ampla e prática do estudo realizado é possível perceber que a resposta de insetos herbívoros a qualidade nutricional da planta hospedeira tem consequências econômicas importante para alguns agroecossistemas (Daane & Williams 2003). Em todos os estudos em que foram avaliadas espécies de pragas individuais, houve uma mudança no comportamento dos insetos herbívoros em todos os aspectos em resposta a mudança climática, indicando um importante caminho a ser estudado (Logan 2003). Dessa forma, as mudanças climáticas têm evidenciado a importância de se trabalhar com as consequências da seca para os aspectos ecológicos e econômicos a longo prazo. Quanto ao aspecto ecológico, estudos têm evidenciado importantes alterações nas comunidades de plantas e artrópodes com a mudança climática global (Trotter *et al.* 2008). Os padrões observados são de redução na diversidade e aumento na abundância de artrópodes em plantas estressadas pela seca (Trotter *et al.* 2008), essa observação foi obtida pela resposta de artrópodes associadas a uma mesma espécie de planta sob estresse hídrico.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este é um dos poucos estudos a verificar o efeito do estresse hídrico e nutricional de plantas susceptíveis a insetos herbívoros em condições de campo, com algumas variáveis controladas como a idade das plantas e nutrientes do solo, uma vez que foram utilizadas indivíduos da mesma espécie, cultivados sob forma de monoculturas.

Além disso, os resultados deste estudo podem contribuir para minimizar os conflitos existentes em relação ao efeito do estresse hídrico na susceptibilidade de plantas ao ataque de insetos sugadores. O estresse hídrico observado nas plantas de *E. camaldulensis* induziu um aumento na densidade média de ovos e de ninfas de *G. brimblecombei*. Este fato pode sugerir um padrão de seleção do sugador quanto a qualidade da planta hospedeira.

Um produto, a ser gerado a partir dessa relação entre a herbivoria e o estresse hídrico de plantas susceptíveis, poderá reduzir o uso de produtos químicos e criar possibilidades de usar a água como um controle de pragas. No entanto, o uso da aplicação de água certamente tem muitas limitações metodológicas em plantios de grandes extensões, com um custo potencialmente alto. Além disso, a retirada e aplicação de grandes quantidades de água nestes plantios causariam todos os impactos ambientais de qualquer sistema de irrigação de larga escala, como lixiviação do solo, assoreamento de corpos d'água próximos e depleção de recursos hídricos naturais, além de consequências imprevisíveis para a flora e a fauna nativas. É provável que a melhor forma de utilizar o efeito da água no controle biológico de *G. brimblecombei* seja para estabelecer protocolos eficientes de boas práticas culturais, como o manejo dos talhões, com o plantio de mudas de *E. camaldulensis* no início da estação chuvosa.

## 6. REFERRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argenta, G., Silva, P.R.F., Bortolini, C.G. 2001. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural* 31(4): 715-722.

- Archer, T.L., Bynum, Jr., E.D., Onken, A.B., Wendt, C.W. 1995. Influence of water and nitrogen fertilizer on biology of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on wheat. *Crop Protection* 14: 165-169.
- Agrawal, A.A. 2005. Future directions in the study of induced plant responses to herbivory. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 115: 97-105.
- Agrawal, A.A., Lau, J.A., Hamback, P.A. 2006. Community heterogeneity and the evolution of interactions between plants and insect herbivores. *Quarterly Review of Biology* 81: 349-376.
- Agrawal, A.A., Ackerly, D.D., Adler, F. Arnold, A.E., Cáceres, C., Doaks, D.F., Post, E., Hudson, P.J., Maron, J., Mooney, K.A., Power, M., Schemske, D., Stachowicz, J., Strauss, S., Turner, M.G., Werner, E. 2007. Filling Key gaps in population and community ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 145-152.
- Anderson, P., Angrell, J. 2005. Within variation in induced defense in developing leaves of cotton plants. *Plant-Animal Interaction*. *Oecologia* 144: 427- 434.
- Basey, J.M., Jenkins, S.H. 1993. Production of defenses in relation to plant growth rate. *Oikos* 68: 323-328.
- Becerra, J.X. 2007. The impact of herbivore-plant coevolution on plant community structure. *Ecology* 104 (18): 7483-7488.
- Bjorkman, C. 2000. Interactive effects of host resistance and drought stress on the performance of a gall-making aphid living on Norway spruce. *Oecologia* 123: 223-231.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S. 1995. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25 (9/10): 1791-1800.

- Braun, S., Fluckiger, W. 1984. Increased population of the aphid *Aphis pomi* at a motorway. The effect of drought and deicing salt. *Environmental Pollution* 36: 261- 270.
- Bryant, J.P., Chapin, F.S., Klein, D.R. 1983. Carbon/nutrient balance in boreal plants in relation to vertebrate herbivory *Oikos* 40: 357-368.
- Carter, G.A., Knapp, A.K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88(4): 677-684.
- Coley, P.D. 1983. Intraspecific variation in herbivory on two tropical tree species. *Ecology* 64(3): 426-433.
- Coley, P.D., Bryant, J.P., Chapin, F.S. 1985. Resource availability and plant anti-herbivore defense. *Science* 230: 895-899.
- Coley, P.D., Barone, J.A. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 305-35.
- Cornelissen, T.G., Fernandes, G.W. 2001a. Defence, growth and nutrient allocation in the tropical shrub *Bauhinia brevipes* (Leguminosae). *Austral ecology* 26: 246-253.
- Cornelissen, T.G., Fernandes, G.W. 2001b. Induced defenses in the neotropical tree *Bauhinia brevipes* to herbivory: effects of damage induced changes on leaf quality and insect herbivore attack. *Trees* 15: 236-241.
- Craig, T.P. 1989. A strong relationship between oviposition preference and larval performance in shoot-galling sawfly. *Ecology* 70(6): 1691-1699.
- Craig, T.P., Itami, J.K., Shantz, C., Abrahamson, W.G., Horner, J.D., Craig, J.V. 2000. The influence of host plant variation and intraspecific competition on

- oviposition preference and offspring performance in the host races of *Eurosta solidaginis*. *Ecological Entomology* 25: 7-18.
- Crawley, M. 2002. *Statistical computing: an introduction to data analysis using S-Plus*. John Wiley & Sons Inc., New York, 772 pages.
- Daane, K.M., Williams, L.E. 2003. Manipulating vineyard irrigation amounts to reduce insect pest damage. *Ecological Applications* 13(6): 1650-1666.
- Daane, K.M., Sime, K.R., Dahlsten, D.L., Andrews Jr, J.W., Zuparko, R.L. 2005. The biology of *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the red gum lerp psyllid (Hemiptera: Psylloidea). *Biological Control* 32: 228-235.
- Dahlsten, D.H., Dreistadt, S.H., Garrison, R.W., Gill, R.J. 2003. *Eucalyptus* red gum lerp psyllid. Pest Notes, Publication 7460. University of California at Davis. Agriculture and natural resources. Available in: <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/PESTNOTES/pn7460.html>
- De Bruyn, L., Scheirs, J., Verhagen, R. 2002. Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia* 130: 594-599.
- Diodato, L., Venturini, M. 2007. Presencia del “psílido del escudo” (*Glycaspis brimblecombei*, Hemiptera, Psyllidae), plaga del *Eucalyptus*, en Santiago del Estero, Argentina. *Revista de Ciencias Forestales – Quebracho* 84-89.
- Faria, M.L., Fernandes, G.W. 2001. Vigour of a dioecious shrub an attack by a galling herbivore. *Ecological Entomology* 26: 37-45.
- Faria, M.L. 2002. *Qualidade nutricional, disponibilidade de recursos e ataque por insetos galhadores em Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 88 pages.

- Favarro, M. R. 2006. *Aspectos bionômicos de Glycaspis brimblecombei (Moore:1964) (Hemiptera: Psyllidae) e seu controle com fungos entomopatogênicos*. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 53 pages.
- Feeny, P.P. 1976. Plant apparency and chemical defense. *Recent Advances in Phytochemistry* 10: 1-40.
- Fernandes, G.W., Price, P.W. 1992. The adaptive significance of insect gall distribution: survivorship of species in xeric and mesic habitats. *Oecologia* 90: 14-20.
- Firmino-Winckler, D.C., Wilcken, C.F., Oliveira, N.C., Matos, C.A.O. 2009. Biologia do psilídeo-de-concha *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) em *Eucalyptus* spp. *Revista Brasileira de Entomologia* 53(1): 144-146.
- Hale, T.K., Herms, D.A., Hansen, R.C., Clausen, T.P., Arnold, D. 2005. Effects of drought stress and nutrient availability on dry matter allocation, phenolic glycosides, and rapid induced resistance of poplar to two lymantriid defoliators. *Journal of Chemical Ecology* 31(11): 2601-2620.
- Herms, D.A., Mattson, W. J. 1992. The dilemma of the plants: To grow or to defend. *Quarterly Review of Biology* 67: 283-335.
- Horner, J.D., Abrahamson, W.G. 1999. Influence of plant genotype and early-season water deficits on oviposition preference and offspring performance in *Eurosta solidaginis* (Diptera: Tephritidae). *American Midland Naturalist* 142: 162-172.
- Hodkinson, I.D. 1974. The biology of Psylloidea (Homoptera): a review. *Bulletin Entomological Research* 64: 325-339.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-570.
- Huberty, A.F., Denno, R.F. 2004. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. *Ecology* 85(5): 1383-1398.

- Inbar, M.L., Doostdar, H., Mayer, R.T. 2001. Suitability of stressed and vigorous plants to various insect herbivores. *Oikos* 94: 228-235.
- Joern, A., Mole, S. 2005. The plant stress hypothesis and variable responses by blue grama grass (*Bouteloua gracilis*) to water, mineral nitrogen, and insect herbivory. *Journal of Chemical Ecology* 31(9): 2069-2090.
- Kerslake, J.E., Woodin, S.J., Hartley, S.E. 1998. Effects of carbon dioxide and nitrogen enrichment on a plant-insect interaction: the quality of *Calluna vulgaris* as a host for *Operophtera brumata*. *New Phytologist* 140: 43-53.
- Koricheva, K., Larsson, S., Haukioja, E. 1998. Insect performance on experimentally stressed woody plants: a Meta-Analysis. *Annual Review of Entomology* 43: 195-216.
- Larsson, S. 1989. Stressfull times for the plant stress-insect performance hypothesis. *Oikos* 56: 277-283.
- Leimu, R., Koricheva, J. 2006. A meta-analysis of tradeoffs between plant tolerance and resistance to herbivores: combining the evidence from ecological and agricultural studies. *Oikos* 112: 1-9.
- Logan, J.A., Regniere, J., Powell, J.A. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(3): 130-137.
- Loney, P.E., McArthur, C., Sanson, G.D., Davies, N.W., Close, D.C., Jordan, G.J. 2006. How do soil nutrients affect within-plant patterns of herbivory in seedlings of *Eucalyptus nitens*? Plant Animal Interactions. *Oecologia* 150: 409-420.
- Louda, S.M., Collinge, S.K. 1992. Plant resistance to insect herbivores: a field test of the environmental stress hypothesis. *Ecology* 73:153-169.

- Maddox, G.D., Cappuccino, N. 1986. Genetic determination of plant susceptibility to an herbivorous insect depends on environmental context. *Evolution* 40: 863-866.
- Malavolta, E., Nogueira, N.G.L., Heinrichs, R., Higashi, E.N., Rodriguez, V., Guerra, E., Oliveira, S.C., Cabral, C.P. 2004. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35: 1007-1019.
- Mattson, W.J. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 119-161.
- Mattson, W.J., Haack, R.A. 1987a. The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience* 37: 110.
- Ministério da Ciência e Tecnologia. Especial Projeto Genolyptus. 2007. Disponível em:  
<http://www.met.gov.br/especial/genolyptus4.htm>. Acesso em: 05 de abril 2007.
- Mody, K., Unsicker, S.B., Linsenmair, K.E. 2007. Fitness related diet-mixing by intraspecific host-plant-switching of specialist insect herbivores. *Ecology* 88: 1012-1020.
- Mody, K., Eichenberger, D., Dorn, S. 2009. Stress magnitude matters: different intensities of pulsed water stress produce non-monotonic resistance responses of host plants to insect herbivores. *Ecological Entomology* 34:133-143.
- Mopper, S., Whitham, T.G. 1992. The plant stress paradox: Effects on pinyon sawfly sex ratios and fecundity. *Ecology* 73 (2): 515-525.
- Murta, A.F. 2007. *Padrões de ataque e sobrevivência de G. brimblecombei em plantios de Eucalyptus camaldulensis associados a remanescentes de cerrado*. Monografia. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. 22 pages.
- Neto, F.R.A. 2005. O quadrante de Ruetsap e a anti-ciência, tecnologia e inovação. *Química Nova* 28: 95-99.

- Neves, O.S.C., Carvalho, J.G., Martins, F.A.D., Pádua, T.R.P., Pinho, P.J. 2005. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40(5). pages
- Oliveira, K.N. 2007. *Padrão de ataque de Glycaspis brimblecombei Moore (Hemiptera: Psyllidae) em diferentes genótipos de Eucalyptus*. Monografia-Universidade Estadual de Montes Claros. Montes Claros-MG, 43 pages.
- Paine, T.D., Dahlsten, D.L., Millar, J.G., Hoddle, M.S., Hanks, L.M. 2000. UC scientists apply IPM techniques to new *Eucalyptus* pest. *California Agriculture* 54: 8-13.
- Pais, M. P. 1998. *Valor nutritivo e investimento em defesa em folhas de Didymopanax vinosum E. March. e sua relação com herbivoria em três fisionomias do cerrado*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. 106 pages.
- Preszler, R.W., Price, P.W. 1995. A test of plant-vigor, plant-stress, and plant-genotype effects on leaf-miner oviposition and performance. *Oikos* 74: 485-492.
- Price, P.W. 1991. The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos* 62: 244-251.
- Price, P.W., Clancy, K.M. 1986. Multiple effects of precipitation on *Salix lasiolepis* and populations of the stem-galling sawfly, *Euura lasiolepis*. *Ecological Research* 1: 1-14.
- R Development core team. 2008. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria., URL <http://www.R-project.org>.

Ramirez, A. L. G., G. M. Mancera, J. J. Guerra-Santos. 2003. Análisis del efecto de las condiciones ambientales en la fluctuación poblacional del psílido del eucalipto en el Estado de México. *Habana*, 5 pages.

Rasband, W.S. 2006. *ImageJ*, U. S. National Institutes of Health, Bethesda. Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij>.

Roy, B.A., Stanton, M.L., Eppley, S.M. 1999. Effects of environmental stress on leaf hair density and consequences for selection. *Evol. Biol.* 12: 1089-1103.

Ruohomaki, K., Chapin, F.S., Haukioja, E., Neuvonen, S., Suomela, J. 1996. Delayed inducible resistance in mountain birch in response to fertilization and shade. *Ecology* 77: 2302-2311.

Sá, L.A.N., Wilcken, C.F. 2004. Nova praga de florestas está atacando eucalipto no país. *A Lavoura* 107: 44-45.

Sánchez, B.S. 2003. *Aspectos bionómicos del psilideo del eucalipto Glycaspis brimblecombei Moore (Homoptera: Psylloidea: Spondylaspidae)*. Tesis de maestría. universidade Autónoma Chapingo. División de Ciências Forestales. Chapingo, Texcoco, Ed. México. 76 pages.

Santos, R.F., Carlesso, R. 1998. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2(3): 287-294.

Schadler, M., Roeder, M., Brand, R., Matthies, D. 2007. Interacting effects of elevated CO<sub>2</sub>, nutrient availability and plant species on a generalist invertebrate herbivore. *Global Change Biology* 13: 1-11.

Scheirs, J., Bruyn, L., Verhagen, R. 2000. Optimization of adult performance determines host choice in a grass miner. *Biological Sciences* 267(1457): 2065-2069.

- Scheirs, J., De Bruyn, L. 2005. Plant-mediated effects of drought stress on host preference and performance of a grass miner. *Oikos* 138: 371-385.
- Schowalter, T.D., Lightfoot, D.C., Whitford, W.G. 1999. Diversity of arthropod responses to host-plant water stress in a desert ecosystem in southern New Mexico. *American Midland Naturalist* 142: 281-290.
- Souza-Silva, A., Zanetti, R., Carvalho, G.A., Medonça, L.A. 2006. Qualidade de mudas de eucalipto tratadas com extrato pirolenhoso. *Cerne* 12: 19-26.
- Stamp, N. 2003. Out of the: Quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology* 78 (1): 23-49.
- Staley, J.T., Mortimer, S.R., Masters, G.J., Morecroft, M.D., Brown, V.K., Taylor, M.E. 2006. Drought stress differentially affects leaf-mining species. *Ecological Entomology* 31: 460-469.
- Stone, C., Bacon, P.E. 1994. Relationships among moisture stress, insect herbivory, foliar cineole content and the growth of river red gum *Eucalyptus camaldulensis*. *The Journal of Applied Ecology* 31(4): 604-612.
- Strauss, S.Y., Irwin, R.E., Lambrix, V.M. 2004. Optimal defence theory and flower petal colour predict variation in the secondary chemistry of wild radish. *Journal of Ecology* 92: 132-141.
- Trotter, R.T., Cobb, N.S., Whitham, T.G. 2008. Arthropod community diversity and trophic structure: a comparison between extremes of plant stress. *Ecological Entomology* 33: 1-11.
- Vergés, A., Becerro, M.A., Alcoverro, T., Romero, J. 2006. Variation in multiple traits of vegetative and reproductive sea grass tissues influences plant-herbivore interactions. *Oecologia* 151: 675-686.

- Wagner, M.R., Frantz, D.P. 1990. Influence of induced water stress in ponderosa pine on pine sawflies. *Oecologia* 83: 452-457.
- Waring, G.L., Cobb, N.S. 1992. The impact of plant stress on herbivore population dynamics. In: Bernays, E.A. (ed.) *Insect- Plant Interactions*. CRC Press, Boca Raton 4: 167-226.
- Wertherley, P.E. 1950. Studies in the water relations of cotton plant. I- The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist* 49: 81-97.
- Wilcken, C.F., Couto, E.B., Orlato, C., Ferreira-Filho, P.J., Firmino, D.C. 2003. Ocorrência do psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei*) (Hemiptera: Psyllidae) em florestas de eucalipto do Brasil. *Informe Técnico do Instituto de Estudos e Pesquisas Agropecuárias* 201, Botucatu, SP.
- White, T.C.R. 1969. An index to measure weather-induced stress of trees associated with outbreaks of psyllids in Australia. *Ecology* 50 (5): 905-909.
- White, T.C.R. 1974. A hypothesis to explain outbreaks of looper caterpillars, with special reference to *Selidosema suavis* in a plantation of *Pinus radiata* in New Zealand. *Oecologia* 16: 279-301.
- White, T.C.R. 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia* 63: 90-105.
- White, T.C.R. 2009. Plant vigour versus plant stress: a false dichotomy. *Oikos* 118: 807-808.
- Zanuncio, J.C., Mezzomo, J.A., Guedes, R.N.C., Oliveira, A.C. 1998. Influence of strips of native vegetation on lepidoptera associated with *Eucalyptus cloeziana* in Brazil. *Forest Ecology and Management* 108: 85-90.