

ELNA MUGRABI OLIVEIRA

MANUTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE BORBOLETAS DO GÊNERO
Heliconius EM UM COMPLEXO SIDERÚRGICO INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Entomologia, para obtenção do título de "Doctor Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

Ficha catalográfica, preparada pela Seção de Catalogação e Classificação
da Biblioteca Central da UFV

T

O48m
2003

Oliveira, Elna Mugarabi, 1967-
Manutenção de Populações de Borboletas do Gênero *Heliconius*
em um Complexo Siderúrgico Industrial. - Viçosa: UFV, 2003
77p.: il.

Orientador: Og Francisco Fonseca de Souza
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Lepidoptera - Ecologia. 2. Lepidoptera - Populações. 3. Lepi-
doptera - Comportamento. 4. Diversidade biológica - Conservação.
5. Nymphalidae. 6. Ar - Poluição. 7. Poçira. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título

CDD 19.ed. 595.781045

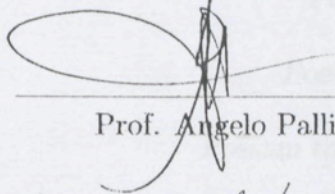
CDD 20.ed. 595.781045

ELNA MUGRABI OLIVEIRA

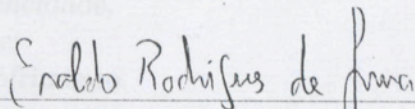
MANUTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE BORBOLETAS DO GÊNERO
HELICONIUS EM UM COMPLEXO SIDERÚRGICO INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Entomologia, para obtenção do título de "Doctor Scientiae".

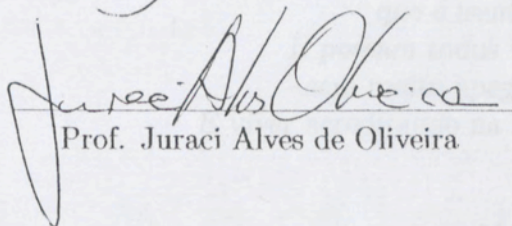
APROVADA: 31 de março de 2003.



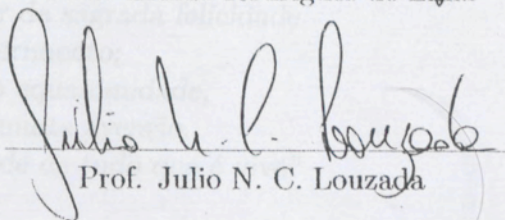
Prof. Angelo Pallini Filho



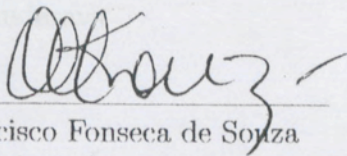
Prof. Eraldo Rodrigues de Lima



Prof. Juraci Alves de Oliveira



Prof. Julio N. C. Louzada



Prof. Og Francisco Fonseca de Souza
Orientador

Agradecimentos

Aos meus queridos Lamas:

Chagdud Tulku Rinpoche

(in memoriam)

Lama Tsering Everest

*“Possam todos os seres ter a felicidade,
e as causas da felicidade;*

*Possam todos se ver livres do sofrimento,
e das causas do sofrimento;*

*Possam todos jamais se separar da sagrada felicidade
que é isenta de sofrimento;*

*E possam todos viver na equanimidade,
sem muito apego nem muita aversão,*

E viver acreditando na igualdade de tudo que é vivo”

Mandarava

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, Og de Souza, quem verdadeiramente contribuiu para minha formação profissional, com sua visão prática e entusiasmada da pesquisa científica.

Ao Robson de Almeida Melo e Silva, Gerente do Departamento de Meio Ambiente e Comunicação Empresarial da CST, quem confiou incondicionalmente no meu trabalho, concedendo-me todas as oportunidades para desenvolver esse estudo. Ele que, em uma empresa onde aparentemente só se pensa na produção de aço, mostrou-me todo o seu amor e respeito para com o meio ambiente.

Agradeço a todas as pessoas da CST que colaboraram comigo ao longo de todos esses anos: ao Morimoto (Divisão de Meio Ambiente), Ieda e Ruslana (Centro de Informações Técnicas), Lima e Gaitoline (Laboratório de Utilidades), Júnia e Adilson do Centro de Educação Ambiental da CST. Ao Eugênio J. Agrizzi que com sua amizade, tanto me auxiliou no assuntos referentes à CST.

Aos meus queridos alunos e amigos que muitas vezes souberam compreender a minha ausência, sobretudo nesse último ano: Nícia Marchesi, Germana Bueno Dias, Carlos Daher, Luciano Silva, Lílian Bastos, Fernanda Vaz de Melo e Lani Tardin.

Aos queridos Sra. Marilena e Sr. Gabriel Chaves que gentilmente cederam sua agradável casa em Vitor Hugo, onde pude tranquilidade para escrever parte da tese.

Aos funcionários da Entomologia: Paula, Chico e Sr. Evaristo, por estarem sempre dispostos a colocar seus serviços a nós estudantes, com presteza e dedicação.

Aos amigos da entomologia e os "termitóides": Danilo, César, Eduardo, Cláudia, Romerinho, Guilherme, Rodrigo e Ana Paula. Especialmente à amiga Carla Galbiati, que tanto me ajudou, hospedando-me e deixando-me a par das coisas do laboratório durante minha permanência em Vitória. Ao Ronaldo Reis Jr. que incansavelmente ajudou-me na utilização dos programas livres. A todos vocês meus sinceros agradecimentos.

Finalmente, gostaria de agradecer aos meus amáveis pais e à Tetê, que sempre estiveram presentes, me apoiando e tornando possível a realização deste longo trabalho.

1	Introdução Geral	1
2	Conclusão Geral	3
3	Referências Bibliográficas	5
<p>DETERMINANTES DA POPULAÇÃO DE <i>Heliconias</i> spp. (LEPIDOPTERA, HELICONIINAE) EM UM COMPLEXO SIDERÚRGICO: EFEITO DOS RECURSOS ALIMENTARES E DA POEIRA ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL INDUSTRIAL</p>		
1	Introdução	8
2	Material e Métodos	10
2.1	Biologia de <i>Heliconias</i> spp.	10
2.2	Local do estudo	10
2.3	Quantificação dos parâmetros populacionais	11
2.4	Quantificação dos variáveis bióticas: recursos alimentares	12
2.5	Quantificação da variável abiótica: material particulado sedimentável	13
2.6	Análise dos dados	13
3	Resultados	14
4	Discussão	19

5 Agradecimentos	21
6 Referências Bibliográficas	22
Índice	
1 Introdução	26
2 Material e Métodos	28
2.1 Biologia de <i>Heliconius</i> spp.	28
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	x
Abstract	xii
1 Introdução Geral	1
2 Conclusão Geral	3
3 Referências Bibliográficas	5
DETERMINANTES DA POPULAÇÃO DE <i>Heliconius</i> spp. (LEPIDOPTERA, HELICONIINAE) EM UM COMPLEXO SIDERÚRGICO: EFEITO DOS RECURSOS ALIMENTARES E DA POEIRA ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL INDUSTRIAL	
1 Introdução	8
2 Material e Métodos	10
2.1 Biologia de <i>Heliconius</i> spp.	10
2.2 Local do estudo	10
2.3 Quantificação dos parâmetros populacionais	11
2.4 Quantificação das variáveis bióticas: recursos alimentares	12
2.5 Quantificação da variável abiótica: material particulado sedimentável	13
2.6 Análise dos dados	13
3 Resultados	15
4 Discussão	19

5	Agradecimentos	21
6	Referências Bibliográficas	22
O EFEITO DA POEIRA ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL NA ESCOLHA DA PLANTA HOSPEDEIRA REALIZADA POR <i>HELICONIUS ETHILLA</i> (LEP. HELICONIINAE)		
1	Introdução	26
2	Material e Métodos	28
2.1	Biologia de <i>Heliconius</i> spp.	28
2.2	Descrição dos viveiros	28
2.3	Planta hospedeira	29
2.4	Coleta, Pesagem e Distribuição da Poeira Urbano-Industrial	29
2.5	Testes de oviposição	31
2.6	Análise dos dados	31
3	Resultados	32
4	Discussão	34
5	Agradecimentos	36
6	Referências Bibliográficas	37
O EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL NO DESENVOLVIMENTO DE <i>Heliconius</i> spp. (LEP. HELICONIINAE)		
1	Introdução	42
2	Material e Métodos	44
2.1	Biologia de <i>Heliconius</i> spp.	44
2.2	Planta hospedeira	44
2.3	Coleta e Pesagem da poeira	45
2.4	Testes de laboratório	46
2.5	Análise dos dados	47
3	Resultados	48
4	Discussão	52
5	Agradecimentos	55
6	Referências Bibliográficas	56

Lista de Figuras

	Página	
1	Representação esquemática de prováveis mecanismos biológicos, responsáveis pela redução da densidade populacional de <i>Heliconius</i> spp., em áreas impactadas pela poluição industrial.	4
1	Representação gráfica da área de estudo com os pontos amostrais (quadrados enumerados) distribuídos arbitrariamente no cinturão verde. Os triângulos representam as fontes emissoras de partículas fugitivas. Cinturão Verde da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil. . . .	12
2	Densidade de indivíduos adultos machos e fêmeas de <i>Heliconius</i> spp. e a sua variação de acordo com a poeira industrial e com a densidade de Passifloraceae. Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil. . .	16
3	Densidade de indivíduos adultos machos e fêmeas de <i>Heliconius</i> spp. e a sua variação de acordo com a poeira industrial e com a densidade de lantana. Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, Vitória, ES, Brasil. .	17
1	Representação esquemática do viveiro de realização do experimento (v2). Os compartimentos enumerados (1 a 8) são as posições, com delineamento imaginário, destinados a receber as plantas hospedeiras. Foi testado um gradiente de concentração de poeira urbano-industrial que variou de 0,0 a $7,2\text{mg}/\text{cm}^2$ sobre as folhas. A seta pontilhada indica o sentido horário da mudança das posições da plantas ao longo do experimento.	30

2	Ovipoosição de <i>H. ethilla</i> (n=28) em testes de escolha simultânea com plantas de <i>P. edulis</i> contaminadas com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	32
1	Análise de sobrevivência dos indivíduos jovens (lagarta e crisálida) de <i>Heliconius ethilla</i> alimentadas com <i>Passiflora edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	49
2	Tempo médio de vida dos jovens (lagarta e crisálida) de <i>H. ethilla</i> e de <i>H. erato</i> alimentados com <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial, estimado pelo modelo Weibull.	50
3	Peso de crisálida dos indivíduos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	51
4	Tamanho dos indivíduos adultos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	53
1	Modelo completo da análise de sobrevivência estimada pelo modelo de Weibull, onde os indivíduos jovens de <i>H. ethilla</i> foram alimentados com <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	48
2	Modelo completo da análise de regressão do peso de crisálida dos indivíduos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	51
3	Análise do modelo completo do tamanho dos indivíduos adultos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.	53

Lista de Tabelas

	Página
1	Análise de regressão da densidade dos indivíduos adultos de <i>Heliconius</i> spp. no cinturão verde da CST e as variáveis testadas no modelo completo. 15
2	Modelo completo da análise de residência, medida a partir do número de recaptura dos indivíduos adultos de <i>Heliconius</i> spp. nos pontos amostrais. Cinturão Verde da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil. 18
1	análise semi-quantitativa do material particulado sedimentável coletado em Jardim Camburi, Serra, Es, Brasil. 46
2	Modelo completo da análise de sobrevivência estimada pelo modelo de Weibull, onde os indivíduos jovens de <i>H. ethilla</i> foram alimentados com <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial. 48
3	Modelo completo da análise de regressão do peso de crisálida dos indivíduos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial. 51
4	Análise do modelo completo do tamanho dos indivíduos adultos de <i>H. ethilla</i> e <i>H. erato</i> quando alimentados com a planta hospedeira <i>P. edulis</i> contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial. . 52

Resumo

OLIVEIRA, Elna Mugarbi, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003.
Manutenção de Populações de Borboletas do Gênero *Heliconius* em um Complexo Siderúrgico Industrial Orientador: Og Francisco Fonseca de Souza. Conselheiros: Carlos F. Sperber e José Henrique Schoereder.

Com o intuito de compreender as causas proximais dos processos que desencadeiam a redução das populações de herbívoros em ambientes impactados por condições siderúrgico-industriais, o objetivo desse estudo foi investigar duas questões e testar as seguintes hipóteses: *Pergunta 1:* O que determina a redução das populações das borboletas adultas de *Heliconius* spp. em ambientes impactados? *a. Hipótese:* a presença dos recursos; *b. Hipótese:* as condições ambientais. *Pergunta 2:* Por que as populações são afetadas negativamente nesses ambientes altamente impactados pela poluição? *a. Hipótese:* fêmeas reduzem suas posturas em razão da menor qualidade da planta; *b. Hipótese:* indivíduos que comem dieta contaminada apresentam parâmetros populacionais reduzidos, afetando sua fertilidade. Esse estudo foi realizado no complexo siderúrgico da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, cuja área é fortemente impactada pela poeira atmosférica siderúrgico-industrial. A hipótese de que as populações dessas borboletas são reguladas através de variáveis bióticas (recursos alimentares, como flores de *Lantana* spp. e Passifloraceae) e variáveis abióticas (poeira industrial) foi testada contra dois parâmetros populacionais dos indivíduos adultos: densidade e residência. A densidade populacional é afetada negativamente pela poeira industrial e, positivamente pelas passifloráceas e lantana. A residência não foi afetada nem pelas passifloráceas e lantanas, nem pela poeira industrial. Relativo à hipótese do comportamento de oviposição da segunda questão, estudamos em laboratório a preferência de fêmeas de *Heliconius ethilla* por plantas de *Passiflora edulis* com oito concentrações (0,7 a 7,1mg/cm²) de poeira urbano-industrial. As fêmeas de *H. ethilla* preferiram ovipositar em plantas

hospedeiras limpas, confirmando que fêmeas evitam colocar ovos em plantas com poeira. Para essa mesma pergunta e testando a hipótese da redução da fertilidade dos indivíduos, o efeito da poeira urbano-industrial foi estudada, em condições de laboratório, sobre o desenvolvimento larval de *H. ethilla* e *H. erato*. As lagartas de ambas espécies foram alimentadas com folhas da planta alimento (*P. edulis*) contendo um gradiente de concentração de poeira de 0,7 a 7,1mg/cm². A poluição industrial afetou negativamente todos os parâmetros analisados: sobrevivência dos indivíduos; peso da crisálida e tamanho dos indivíduos adultos. Serão discutidos uma possível ação deletéria dos metais pesados, identificados na dieta contaminada, e suas prováveis consequências para a redução da densidade populacional em campo.

OLIVEIRA, Elza Mugarib, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2003.
Maintenance of butterfly populations of the Genus *Heliconia* in an Industrial Siderurgic Complex. Adviser: Og Francisco Fonseca de Souza.
Committee Members: Carlos F. Sperber and José Henrique Schogrer.

The objective of this study was to investigate two questions and test two hypotheses aimed at understanding the proximal causes of the processes triggering the reduction of herbivore populations in environments impacted by industrial-siderurgic conditions. 1. What determines the reduction of adult *Heliconia* spp. butterfly populations in impacted environments? a. hypothesis: the presence of food resources; b. hypothesis: the surrounding environmental conditions. 2. Why are the populations negatively affected by these highly pollution-impacted environments? a. hypothesis: females reduce the number of eggs laid due to the lower quality of the plant; b. hypothesis: individuals that feed on contaminated diet present reduced populational parameters, thus affecting their fertility. This study was carried out in the Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, whose area is highly impacted by industrial-siderurgic atmospheric dust. The hypothesis that these butterfly populations are regulated by biotic variables (feeding resources, such as *Lantana* spp. and *Passifloraceae*) and abiotic variables (industrial dust) was tested against two adult individual populational parameters: density and residency. Populational density is negatively affected by industrial dust and positively affected by the *passifloraceae* and *lantana*. Residency was neither affected by the *passifloraceae* and *lantana*, nor by industrial dust. Regarding the oviposition behavior hypothesis in question 2, a laboratory study was conducted on the preference of *Heliconia erato* females for *Passiflora edulis* plants using eight industrial-urban dust concentrations (from 0.7 to 7.1mg/cm²). *H. ethilla* females preferred to oviposit in clean host plants, thus confirming that females avoid laying eggs on dusty plants. Regarding this same

Abstract

OLIVEIRA, Elna Mugarbi, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2003.
Maintenance of butterfly populations of the Genus *Heliconius* in an Industrial Siderurgic Complex. Adviser: Og Francisco Fonseca de Souza.
 Committee Members: Carlos F. Sperber and José Henrique Schoereder.

The objective of this study was to investigate two questions and test two hypotheses aimed at understanding the proximal causes of the processes triggering the reduction of herbivore populations in environments impacted by industrial-siderurgic conditions: 1. what determines the reduction of adult *Heliconius* spp. butterfly populations in impacted environments? a. hypothesis: the presence of feed resources; b. hypothesis: the surrounding environmental conditions. 2. Why are the populations negatively affected by these highly pollution-impacted environments? a. hypothesis: females reduce the number of eggs laid due to the lower quality of the plant; b. hypothesis: individuals that feed on contaminated diet present reduced populational parameters, thus affecting their fertility. This study was carried out in the Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, whose area is highly impacted by industrial sidureurgic atmospheric dust. The hypothesis that these butterfly populations are regulated by biotic variables (feeding resources, such as *Lantana* spp. and Passifloraceae) and abiotic variables (industrial dust) was tested against two adult individual populational parameters: density and residency. Populational density is negatively affected by industrial dust and positively affected by the passifloraceas and lantanas. Residency was neither affected by the passifloraceas and lantanas, nor by industrial dust. Regarding the the oviposition behavior hypothesis in question 2, a laboratory study was conducted on the preference of *Heliconius ethilla* females for *Passiflora edulis* plants using eight industrial-urban dust concentrations (from 0.7 to 7.1mg/cm²) *H. ethilla* females preferred to oviposit in clean host plants, thus confirming that females avoid laying eggs on dusty plants. Regarding this same

question, and to test the hypothesis of reduced individual fertility, the effect of industrial urban dust on *H. ethilla* and *H. erato* larval development was studied under laboratory conditions. Caterpillars of both species were fed plant *P. edulis* leaves containing a dust concentration gradient of 0.7 to 7.1mg/cm². Industrial pollution negatively affected all the analyzed parameters: individual survival, crisolid weight and adult individual size. A likely deleterious effect of the heavy metals identified in the contaminated diet will be discussed as well as its likely consequences of reducing the populational density in the field.

Os fatores deteriorantes das populações em ambientes industrializados, têm recentemente recebido especial atenção (Blair, 1988; Hardy & Dennis, 1999; McIntyre & Wiens, 1999). Estudos com artrópodes revelam que há uma relação negativa desses organismos com: o isolamento dos habitats naturais, a diversidade de nichos, o aumento dos distúrbios incluindo a poluição atmosférica, entre outros. Entretanto, há carência de estudos capazes de detectar os processos que agem diretamente sobre as espécies em tais ambientes.

As borboletas *Heliconius* são um dos insetos mais atraentes, mais bem estudados. Há citações a seu respeito nos mais variados aspectos, tais como sistêmatics (Alexander, 1961a, 1961; Boebe et al., 1960; Brown, 1975), genéticos e evolutivos (Turner, 1971; Mallet, 1986), ecológicos (Gilbert, 1991; Benson, 1975; Brown, 1972) e comportamentais (Crane, 1985; Moreira et al., 1996; Murgel-Oliveira & Moreira, 1998). Tais informações adquiridas são provenientes de estudos em ambientes sem nenhuma ou com pouca interferência humana, onde pôde-se identificar aspectos capazes de determinar suas populações em condições naturais.

Essas espécies colonizam facilmente em áreas abertas, uma vez que necessitam da luz do sol, e são frequentemente encontradas sobre endo locais alterados, como em áreas periféricas e até na região central das grandes cidades.

Com o intuito de melhor compreender as causas proximais dos processos que desencadeiam a redução das populações dessas borboletas em condições

1 Introdução Geral

Os fatores determinantes das populações em ambientes industrializados, têm recentemente recebido especial atenção (Blair, 1999; Hardy & Dennis, 1999; McIntyre & Wiens, 1999). Estudos com artrópodes revelam que há uma relação negativa desses organismos com: o isolamento dos habitats naturais, a diversidade de nichos, o aumento dos distúrbios incluindo a poluição atmosférica, entre outros. Entretanto, há carência de estudos capazes de detectar os processos que agem diretamente sobre as espécies em tais ambientes.

As borboletas *Heliconius* são um dos insetos neotropicais, mais bem estudados. Há citações a seu respeito nos mais variados aspectos, tais como: sistemáticos (Alexander, 1961a, 1961; Beebe et al., 1960; Brown, 1975), genéticos e evolutivos (Turner, 1971; Mallet, 1986), ecológicos (Gilbert, 1991; Benson, 1978; Brown, 1972) e comportamentais (Crane, 1955; Moreira et al., 1996; Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996). Tais informações adquiridas são provenientes de estudos em ambientes sem nenhuma ou com pouca interferência humana, onde pôde-se identificar aspectos capazes de determinar suas populações em condições naturais.

Essas espécies colonizam facilmente em áreas abertas, uma vez que necessitam da luz do sol, e são frequentemente encontradas sobrevoando locais alterados, como em áreas periféricas e até na região central das grandes cidades.

Com o intuito de melhor compreender as causas proximais dos processos que desencadeiam a redução das populações desses herbívoros em condições

industriais, o nosso objetivo foi investigar duas questões e testar as seguintes hipóteses:

Pergunta 1: O que determina a redução das populações das borboletas adultas de *Heliconius* spp. em ambientes impactados? *a. hipótese:* a presença dos recursos. Pois espera-se que onde houver mais recursos, haverá maior densidade, maior residência e maior tamanho dos indivíduos; *b. hipótese:* as condições ambientais. Pois a maior taxa de poeira industrial reduz a densidade, a residência e o tamanho dos indivíduos.

Pergunta 2: Por que as populações são afetadas negativamente nesses ambientes altamente impactados pela poluição? *a. hipótese:* fêmeas reduzem suas posturas em razão da menor qualidade da planta; *b. hipótese:* indivíduos que comem dieta contaminada apresentam parâmetros populacionais reduzidos, afetando a sua fertilidade.

Esse estudo foi realizado no complexo siderúrgico da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, cuja área é fortemente impactada pela poeira atmosférica industrial.

Compreender como essas borboletas são afetadas nestes ambientes poderá nos auxiliar à práticas de manejo, visando a manutenção de populações e o incremento da diversidade, de modo a contribuir para a conservação de espécies em ambientes impactados pela poluição industrial.

2 Conclusão Geral

Concluimos que ambas as variáveis analisadas: recurso alimentar e poeira industrial, afetam as populações de *Heliconius* spp. no cinturão verde da Companhia Siderúrgica de Tubarão.

A interação entre passifloráceas e a poeira industrial é a responsável pela densidade das borboletas em campo. Áreas com altas taxas de material particulado necessitam de um incremento maior de plantas de maracujá, para comportar maiores densidades de *Heliconius* spp. O recurso para os indivíduos adultos, *Lantana* spp., não afetou os parâmetros populacionais analisados, provavelmente devido a sua menor suscetibilidade à poeira, pois possuem superfície de contato pequena aos poluentes.

É provável que a má qualidade nutricional, devido à deposição de poluentes e assimilação de metais pesados, sejam as causas proximais dos resultados obtidos neste estudo. A **Figura 1** demonstra os prováveis mecanismos biológicos responsáveis pela redução na densidade de *Heliconius* spp. do cinturão verde da CST.

Figura 1 - Representação esquemática de prováveis mecanismos biológicos, responsáveis pela redução da densidade populacional de *Heliconius* spp. em áreas impactadas pela poeira industrial.

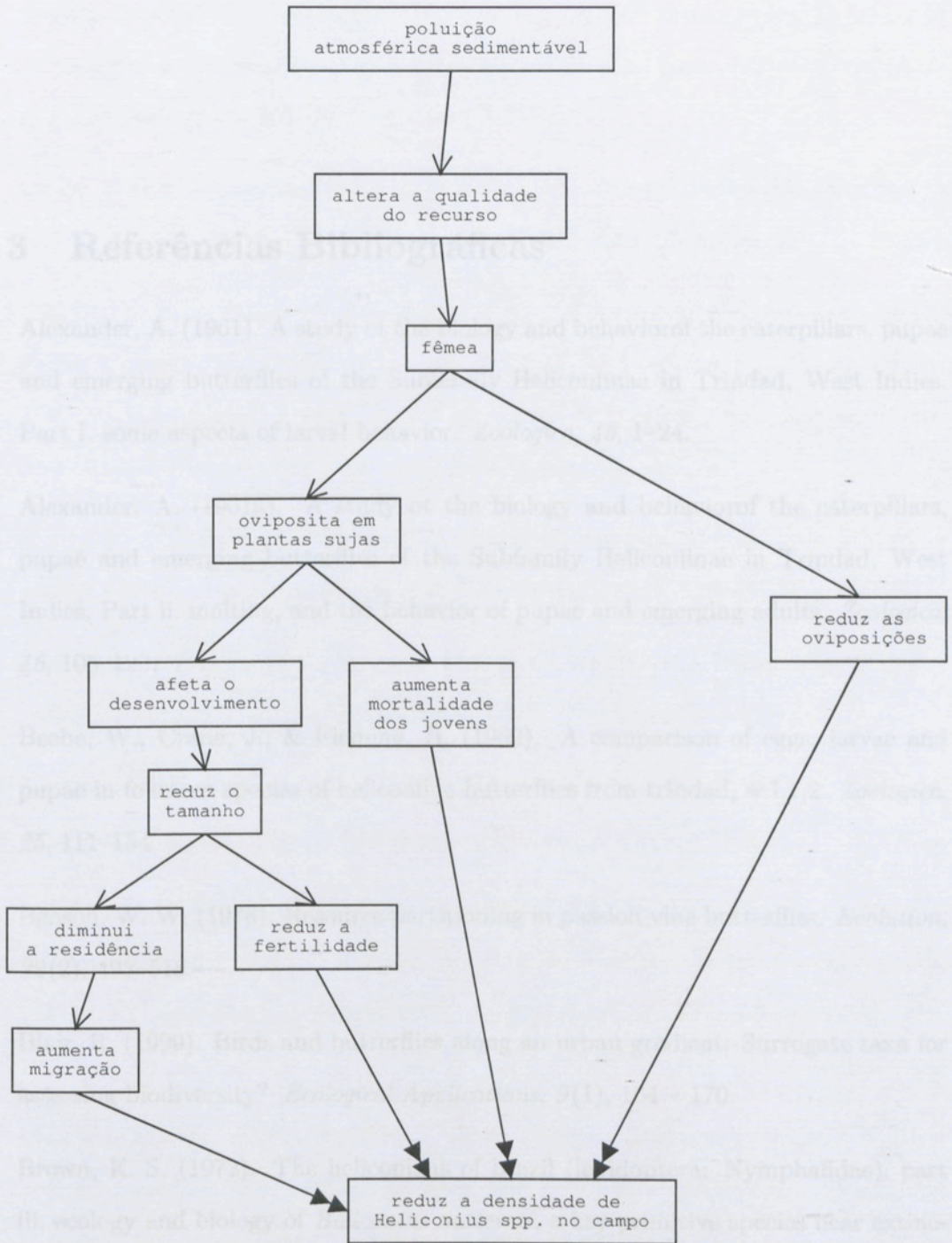


Figura 1 - Representação esquemática de prováveis mecanismos biológicos, responsáveis pela redução da densidade populacional de *Heliconius* spp., em áreas impactadas pela poluição industrial.

3 Referências Bibliográficas

- Alexander, A. (1961). A study of the biology and behavior of the caterpillars, pupae and emerging butterflies of the Subfamily Heliconiinae in Trinidad, West Indies. Part I. some aspects of larval behavior. *Zoologica*, 46, 1-24.
- Alexander, A. (1961a). A study of the biology and behavior of the caterpillars, pupae and emerging butterflies of the Subfamily Heliconiinae in Trinidad, West Indies. Part ii. molting, and the behavior of pupae and emerging adults. *Zoologica*, 46, 105-123.
- Beebe, W., Crane, J., & Fleming, H. (1960). A comparison of eggs, larvae and pupae in fourteen species of heliconiine butterflies from trinidad, w.I.1,2. *Zoologica*, 25, 111-154.
- Benson, W. W. (1978). Resource partitioning in passion vine butterflies. *Evolution*, 32(2), 493-518.
- Blair, R. (1999). Birds and butterflies along an urban gradient: Surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecological Applications*, 9(1), 164 - 170.
- Brown, K. S. (1972). The heliconians of brazil (lepidoptera: Nymphalidae). part iii. ecology and biology of *Heliconius nattereri*, a key primitive species near extinction, and comments on the evolutionary development of *Heliconius* and *Eueides*. *Zoologica*, 41-69.

- Brown, K. S. (1975). Geographical patterns of evolution in neotropical lepidoptera. systematics and derivation of known and new heliconiini (nymphalidae: Nymphalidae). *F. ent.*, 44(3), 201–242.
- Crane, J. (1955). Imaginal behavior of a trinidad butterfly, *Heliconius erato hydara* Hewitson, with special reference to the social use of color. *Zoologica*, 40(4), 167–194.
- Gilbert, L. E. (1991). Biodiversity of a central american *Heliconius* community: Pattern, process, and problems. In P. W. Price, T. M. Lewinsohn, G. W. Fernandes, & W. W. Benson (Eds.), *Plant-animal interactions: Evolutionary ecology in tropical and temperate regions* (pp. 403–427). John Wiley & Sons, Inc.
- Hardy, P. & Dennis, R. (1999). The impact of urban development on butterflies within a city region. *Biodiversity and Conservation*, 8(9), 1261–1279.
- Mallet, J. (1986). Dispersal and gene flow in a butterfly with home range behavior - *Heliconius erato* (Lepidoptera, Nymphalidae). *Oecologia*, 210–217.
- McIntyre, N. E. & Wiens, J. A. (1999). How does habitat patch size affected animal movement? an experiment with darkling beetles. *Ecology*, 80(7), 2261 – 2270.
- Moreira, G. R. P., Correa, C. A., & Mugrabi-Oliveira, E. (1996). Pollination of *Habenaria pleiophylla* Hoehne & Schlechter (Orchidaceae) by *Heliconius erato phyllis* Fabricius (Lepidoptera, Nymphalidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 13(3), 791–798.
- Mugrabi-Oliveira, E. & Moreira, G. R. P. (1996). Conspecific mimics and low host plant availability reduce egg laying by *Heliconius erato phyllis* (Fabricius) (Lepidoptera, Nymphalidae). *Rev. Bras. Zool.*, 13(4), 929–937.
- Turner, J. R. G. (1971). Experiments on the demography of tropical butterflies. ii. longevity and home-range behaviour in *Heliconius erato*. *Biotropica*, 3(1), 21–31.

DETERMINANTES DA POPULAÇÃO DE *Heliconius* spp.
(LEPIDOPTERA, HELICONIINAE) EM UM COMPLEXO
SIDERÚRGICO: EFEITO DOS RECURSOS ALIMENTARES E DA
POEIRA ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL INDUSTRIAL

Mugrabi-Oliveira, E. DeSouza, O. & Reis Jr., R.

RESUMO

Sabe-se empiricamente que em ambientes naturais as populações das borboletas *Heliconius* spp. são afetadas por seus recursos alimentares, pelas flores de onde os indivíduos adultos retiram o néctar e o pólen, e pelas passifloráceas, plantas hospedeiras das lagartas. Em condições ambientais estressantes é possível que outros fatores regulem suas populações. O objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que as populações dessas borboletas são reguladas através de variáveis bióticas, como os recursos alimentares, e abióticas, como a deposição de poeira atmosférica sedimentável industrial. Tais variáveis foram avaliadas segundo dois parâmetros populacionais dos indivíduos adultos: densidade e residência. Nossos resultados demonstraram que a densidade populacional foi regulada negativamente pela poeira industrial e, positivamente pelas passifloráceas e lantanas. A residência não foi afetada da mesma maneira que a densidade. Nossos resultados indicam que a interação entre os recursos e poeira industrial regulam as populações de *Heliconius*

spp. no complexo industrial. Os metais pesados, encontrados na poeira dos pontos estudados, indicam uma possível causa proximal para as repostas populacionais de *Heliconius* spp.

1 Introdução

As populações dos organismos são limitadas pela combinação de variáveis ambientais físicas e bióticas que determinam o nicho multidimensional das espécies (Brown, 1984).

Diferentes variáveis ambientais, incluindo fatores abióticos tais como temperatura, luz do sol, água, salinidade, pH e concentração de nutrientes, e fatores bióticos tais como competição, disponibilidade de presa, predadores e patógenos, agem em combinação para determinar as parâmetros populacionais dos habitats (Dempster, 1983; Brown, 1984; Bertana & Chapman, 1994; Brown et al., 1995).

Os principais fatores que limitam as populações das borboletas são os recursos para as lagartas e para os adultos, predação e parasitismo, patógenos e clima (Gilbert & Singer, 1973). Hughes (2000) identificou que as espécies das borboletas leucoides podem ser afetadas pela presença de poças de lama onde possivelmente coletam nutrientes. A disponibilidade de um lugar seguro para empoeirar pode ser um importante limitador de indivíduos para algumas espécies (Dempster, 1983). Davis (1974) identificou que tanto a proteção contra o vento, quanto a disponibilidade de néctar, afetam a distribuição de algumas espécies de borboletas. As interações tróficas na distribuição das mariposas minadoras apresentam-se como uma relação positiva entre esses herbívoros e a comunidade de parasitoides (Valladares & Salvo, 2001). Já para a borboleta tropical *Arctia* nem as condições climáticas são mais determinantes para as flutuações populacionais, que a relação predador presa (Arreola

1 Introdução

As populações dos organismos são limitadas pela combinação de variáveis ambientais físicas e bióticas que determinam o nicho multidimensional das espécies (Brown, 1984).

Diferentes variáveis ambientais, incluindo fatores abióticos tais como: temperatura, luz do sol, água, salinidade, pH e concentração de nutrientes, e fatores bióticos tais como: competição, disponibilidade de presa, predadores e patógenos; agem em combinação para determinar os parâmetros populacionais dos herbívoros (Dempster, 1983; Brown, 1984; Bernays & Chapman, 1994; Brown et al., 1995).

Os principais fatores que limitam as populações das borboletas são os recursos para as lagartas e para os adultos, predação e parasitismo, patógenos e clima (Gilbert & Singer, 1975). Hughes (2000) identificou que as espécies das borboletas licenídeos podem ser afetadas pela presença de poças de lama onde possivelmente coletam nutrientes. A disponibilidade de um lugar seguro para empupar parece ser um importante limitador de indivíduos para algumas espécies (Dempster, 1983). Dover (1996) identificou que tanto a proteção contra o vento, quanto a disponibilidade de néctar, afetam a distribuição de algumas espécies de satirídeos. As interações tróficas na distribuição das mariposas minadoras apresentam-se como uma relação positiva entre esses herbívoros e a comunidade de parasitóides (Valladares & Salvo, 2001). Já para a borboleta tropical *Acraea acerata* as condições climáticas são mais determinantes para as flutuações populacionais, que a relação predador presa (Azerefege

et al., 2001). Das vinte e quatro variáveis ambientais que provavelmente afetam a distribuição e abundância da borboleta *Parnassius mnemosyne*, avaliadas por Luoto et al. (2001), as mais importantes foram a cobertura vegetal, a quantidade de radiação solar e o tamanho do habitat. Esses autores verificaram que a abundância das borboletas diminui com a elevação da topografia e com a velocidade do vento.

Dempster (1983) observaram que a falta de sol, de que as fêmeas necessitam para ovipositar, é um fator direto que causa o declínio da borboleta *Lycaena phlaeas*.

Comparativamente com esses fatores, os recursos nutricionais são, sem dúvida preponderantes, para a determinação da população de borboletas em seus ambientes (Ehrlich & Gilbert, 1973; Gilbert & Singer, 1975; Dempster, 1983).

Para a borboleta do Oregon, espécie ameaçada de extinção, recomenda-se aumentar a oferta de alimento, como uma medida de incrementação e manutenção das suas populações. Hill (1999) estudando a abundância e os requerimentos de habitat identificou que em situações de estresse de água, as populações dessas borboletas concentraram-se nas áreas com alta cobertura da planta hospedeira.

Com a utilização crescente das áreas rurais, conseqüente da expansão dos grandes centros urbanos, as populações são submetidas a outros fatores abióticos oriundos de ações antrópicas, como a poluição atmosférica, advinda da urbanização e da industrialização. Fatores esses que vêm recebendo especial atenção em estudos mais recentes (Blair & Launer, 1997; Hardy & Dennis, 1999).

A resposta dos organismos frente à ação dos poluentes atmosféricos resultam em reações variadas às suas populações (Phillips, 1998). É possível que haja um efeito negativo, devido às suas ações deletérias sobre os indivíduos (Mankovska & Steinnes, 1995; Ruohomaki et al., 1996). As populações podem manter-se inalteradas, devido à tolerância adquirida pelos indivíduos aos poluentes (Koricheva

& Haukioja, 1995). E por fim, as populações podem se beneficiar das condições de estresse em resposta ao efeito negativo da poluição sobre as plantas, que as tornam mais suscetíveis aos herbívoros e/ou, através da eliminação de seus inimigos naturais (Dohmen et al., 1984; Zvereva & Kozlov, 1995).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que as populações dessas borboletas são reguladas através de variáveis bióticas, como os dois recursos alimentares, flores de *Lantana* spp. e Passifloraceae; considerando que as variáveis abióticas, assim como a condição industrial, também são capazes de alterar suas populações em campo.

2.1 Biologia de *Heliconius* spp.

Os heliconíneos apresentam-se com ampla distribuição na região neotropical, podendo ser encontrados em todos os tipos de ambientes, de preservados a alterados antropicamente, sempre associados a ambientes com plantas hospedeiras (Ehrlich 1981). Os indivíduos encontram-se agrupados em populações pequenas e restritas, ao longo de todo o ano. Ehrlich & Gilbert (1973) descrevem populações com aproximadamente 2 indivíduos em cada hectare de mata. Há sobrepovoação de girafas, uma vez que as borboletas adultas podem viver até seis meses na natureza.

Os estágios juvenis de *Heliconius* estão associados às plantas hospedeiras pertencentes à Família Passifloraceae (planta-do-martelão). Os indivíduos adultos alimentam-se de néctar e pólen das flores. Uma das fontes alimentares preferidas dessas espécies são as plantas coloridas *Lantana* spp. (Verhulst et al.) (Crane, 1953;

2 Material e Métodos

A população dos adultos de *Heliconius* spp. foi analisada quanto aos seguintes parâmetros: densidade, residência e tamanho. Esses parâmetros serão avaliados em resposta a variáveis bióticas, os dois recursos alimentares, flores de *Lantana* spp. e Passifloraceae; e abióticas, como a condição industrial. Essa condição será analisada através da poeira, que são partículas sedimentáveis com diâmetro superior à 100 micras, que sofrem ação da gravidade devido suas massas se depositarem sobre superfícies dos materiais (ABNT, 1991).

2.1 Biologia de *Heliconius* spp.

Os heliconíneos apresentam-se com ampla distribuição na região neotropical, podendo ser encontrados em todos os tipos de ambientes, de preservados a alterados antropicamente, sempre associados a ambientes ensolarados (Brown 1981). Os indivíduos encontram-se agrupados em populações pequenas e restritas, ao longo de todo o ano. Ehrlich & Gilbert (1973) descrevem populações com aproximadamente 2 indivíduos em cada hectare de mata. Há sobreposição de gerações, uma vez que as borboletas adultas podem viver até seis meses na natureza.

Os estágios jovens de *Heliconius* estão associados às plantas hospedeiras pertencentes à Família Passifloracea (planta de maracujá). Os indivíduos adultos alimentam-se de néctar e pólen das flores. Uma das fontes alimentares preferidas dessas espécies são as plantas coloridas *Lantana* spp. (Verbenaceae) (Crane, 1955;

Penz & Krenn, 2000). Suas flores são pequenas (aproximadamente 2mm) e dispostas em capítulos. Essas plantas são arbustivas perenes, que habitam áreas abertas da floresta.

As borboletas fêmeas necessitam de um ramo da planta hospedeira para cada postura, pois ovipositam isoladamente nos meristemas apicais, evitando dessa forma a competição intraespecífica, que pode até culminar no canibalismo (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996).

Ambas as espécies, que servem de alimento para os indivíduos jovens e adultos, podem ser encontradas no mesmo tipo de ambiente.

2.2 Local do estudo

Esse estudo foi realizado na Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Espírito Santo, Brasil, a 20°15'S e 40°14'W. A CST é a segunda maior exportadora de aço na forma de placas e bobinas a quente do país, com uma produção de aço líquido de aproximadamente 5.000.000,00t/ano.

Para a produção anual de uma tonelada de aço líquido há uma emissão fugitiva de 0,44kg de poluentes atmosféricos, na forma de gases e de poeira (dados para o ano de 2002). Destes poluentes, 76% são oriundos das chaminés e o restante dos pátios de estocagem de matéria prima e dos pátios de subprodutos.

A composição química do material particulado sedimentável é de difícil descrição uma vez que a CST é um complexo siderúrgico, onde há a integração de vários processos para a produção do aço. A utilização de diversas matérias primas, com diferentes constituições químicas, geram distintos subprodutos de composição química diversificada.

As principais fontes de emissão de partículas fugitivas estão entre as seguintes unidades siderúrgicas: coqueiria (que transforma a mistura de carvões mi-

nerais em coque); alto-fornos (que forma ferro gusa através da combustão do carvão com oxigênio); aciaria (que fabrica o aço através da oxidação de impurezas contidas e ferro gusa); sinterização (que mistura os minérios de ferro, de carvão e fundentes); calcinação (que transforma o calcário em cal) e os pátios de minério e de carvão mineral.

O cinturão verde, nome dado à vegetação que circunda a indústria, desempenha um papel importante, especialmente como uma barreira para a interceptação do material particulado, oriundo das fontes de emissão fugitiva. O cinturão verde compreende uma área de aproximadamente 781 ha, com plantas introduzidas de crescimento rápido, como os gêneros: *Acacia*, *Eucalyptus* e *Leucaena*; com formação de restinga, áreas remanescentes de Mata Atlântica e mata de tabuleiro.

As amostragens foram realizadas no período entre os meses de outubro de 2000 a janeiro de 2001. Vinte e oito (27) pontos amostrais foram escolhidos arbitrariamente ao longo de todo o cinturão verde, com o intuito de amostrar um gradiente de emissão de partículas sedimentáveis (**Figura 1**).

Cada ponto amostral constituía-se de um quadrado de (80X80m), perfazendo uma área total de aproximadamente 0,64 ha. Foram confeccionadas trilhas nas quatro margens e no centro de cada ponto, com aproximadamente 1m de largura. As borboletas adultas e os recursos foram quantificados ao longo de tais trilhas.

2.3 Quantificação dos parâmetros populacionais

Os pontos amostrais foram investigados por dois coletores que percorriam todo o sistema de trilhas do quadrado amostral durante 30 minutos. Após a captura, os indivíduos eram transferidos para gaiolas teladas, com 70cm de altura e 30cm de largura, onde permaneciam até o final da amostragem.



Figura 1 - Representação gráfica da área de estudo com os pontos amostrais (quadrados enumerados) distribuídos arbitrariamente no cinturão verde. Os triângulos representam as fontes emissoras de partículas fugitivas. Cinturão Verde da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil.

As amostragens foram realizadas manualmente com redes entomológicas durante cinco vezes em cada ponto estudado. O intervalo entre uma amostragem e outra, em um mesmo ponto, foi de aproximadamente 25 dias.

As borboletas eram enumeradas individualmente na face ventral das asas anteriores, com tinta atóxica e impermeável à água. A densidade dos *Heliconius* spp. adultos foi obtida através do somatório do número de indivíduos capturados durante as cinco amostragens. A residência foi quantificada a partir do número de recapturas. Foram consideradas recapturas aqueles indivíduos capturados mais de uma vez no mesmo ponto. A terceira e sucessivas recapturas foram também consideradas para o cálculo da residência. Imediatamente após esse procedimento os indivíduos eram liberados para a natureza.

2.4 Quantificação das variáveis bióticas: recursos alimentares

A estimativa da disponibilidade de recursos alimentares para os indivíduos adultos foi obtida através da avaliação do número de capítulos de *Lantana* spp. nos pontos amostrais. Essas plantas são abundantes e predominantemente distribuídas no cinturão verde da CST.

O recurso das lagartas, as passifloráceas, foram quantificados a partir do número de ramos intactos (gema apical mais cinco folhas iniciais), uma vez que as fêmeas utilizam-se dessa porção da planta como recurso para suas posturas.

A contagem do recurso foi realizada previamente à amostragem dos indivíduos adultos, ao longo das duas margens das trilhas de cada ponto amostral, perfazendo uma área total de aproximadamente 1.600m².

2.5 Quantificação da variável abiótica: material particulado sedimentável

A condição ambiental foi quantificada através da concentração da poeira industrial medida em mg/cm².

O material particulado sedimentável (MPS) ou poeira industrial, foi medido para inferir a quantidade de poeira a que as populações de *Heliconius* spp. estavam submetidas nos diferentes pontos do cinturão verde. A técnica utilizada determinou a quantidade de MPS total na atmosfera, precipitada em uma área de 1Km², durante um período de 30 dias (ABNT, 1991). A coleta do MPS deu-se de forma passiva, através de coletores expostos no centro de cada ponto amostral. Os coletores consistiam de um pote de vidro de 15cm de diâmetro e 20cm de altura, instalado em um suporte de madeira de aproximadamente 3m de altura. No frasco

coletor foram colocados 500ml de água desmineralizada e 10 gotas de bactericida. Esse último produto serviu para proteger a amostra da desmineralização de materiais orgânicos, que poderiam vir a contaminar a amostra.

Para permitir o acesso da poeira ao pote coletor, foi retirada a vegetação de um raio de aproximadamente $3m^2$ ao seu redor.

Após a coleta, o MPS foi encaminhado ao laboratório de química da CST para a obtenção de sua massa. Foi utilizado o método de secagem em chapa elétrica e pesagem em balança analítica, com quatro casas decimais. A taxa de poeira sedimentável total foi calculada segundo análise descrita pela ABNT (1991) e transformada para uma área de $1cm^2$.

A identificação da composição química do MPS, coletado nos diferentes pontos amostrais, foi realizada através de análise semi-quantitativa, realizada em microscopia eletrônica de varredura, com espectrômetro de energia dispersiva (marca Leica, modelo S440i).

2.6 Análise dos dados

Para a análise estatística de todos os parâmetros da estrutura populacional de *Heliconius* spp. utilizou-se o sistema estatístico R (Ihaka & Gentleman, 1996).

Foram realizadas análises de regressão para todos os parâmetros populacionais dos indivíduos adultos: densidade e residência. Os parâmetros populacionais (Y) foram testados contra todas as variáveis bióticas e abióticas: número de capítulo de lantana (x_1), número de ramos de passiflorácea (x_2) e concentração de material particulado sedimentável (x_3).

Para análise da densidade utilizamos a distribuição binomial negativa em detrimento da distribuição de Poisson. Isto porque houve sobredispersão dos

dados e porque identificamos um melhor ajuste do modelo, através dos gráficos de probabilidade com envelopes. Para a análise dos demais parâmetros utilizamos a distribuição normal, devido à ausência de sobredispersão.

			p
Modelo	28	151,17	< 0,000
espécies (sp)	1	149,04	< 0,000
sexo (se)	1	33,19	< 0,000
raças de <i>Heliconius</i> (ra)	1	24,97	< 0,000
laniana (lan)	1	4,45	= 0,003
poeta (po)	1	13,42	= 0,000
sp*ra	1	7,51	= 0,06
sp*lan	1	4,05	= 0,25
sp*po	1	11,81	= 0,01
se*ra	1	1,27	= 0,016
se*lan	1	0,67	= 0,78
se*po	1	0,12	= 0,73
lan*po	1	0,47	= 0,59
ra*lan	1	0,02	= 0,88
lan*ra	1	0,28	= 0,60
Resíduo	190		
Total	218		

3 Resultados

Foram capturados 253 indivíduos de *Heliconius* degenae as seguintes espécies: *H. atalla*, *H. eris*, *H. melphoea* e *H. sara*. A densidade de *Heliconius* spp. foi reduzida em alguns pontos do cinturão verde. Do modelo de densidade avaliada, apenas espécie, sexo, psitaforécia, laniana, poeta e a interação entre a poeta e a espécie, explicam a redução da densidade em campo (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de regressão da densidade dos indivíduos adultos de *Heliconius* spp. no cinturão verde da CST e as variáveis testadas no modelo completo.

Fonte variação	Grau liberdade	χ^2	<i>p</i>
Modelo	22	151,17	< 0,000
espécie (sp)	1	149,04	< 0,000
sexo (sx)	1	33,19	< 0,000
ramos de maracujá (rm)	1	21,07	< 0,000
lantana (lan)	1	4,48	= 0,003
poeira (po)	1	11,42	= 0,000
sp*rm	1	7,51	= 0,06
sp*lan	1	4,06	= 0,25
sp*po	1	11,81	= 0,01
sx*rm	1	1,27	= 0,026
sx*lan	1	0,08	= 0,78
sx*po	1	0,12	= 0,73
rm*po	1	0,42	= 0,52
rm*lan	1	0,02	= 0,88
lan*po	1	0,28	= 0,60
Resíduo	193	---	---
Total	215	---	---

3 Resultados

Foram capturamos 353 indivíduos de *Heliconius* dentre as seguintes espécies: *H. ethilla*, *H. erato*, *H. melphomne* e *H. sara*. A densidade de *Heliconius* spp. foi reduzida em alguns pontos do cinturão verde. Do modelo completo analisado, apenas espécie, sexo, passiflorácea, lantana, poeira e a interação entre a poeira e a espécie, explicam a redução da densidade em campo (**Tabela 1**).

Na **Figura 2** podemos observar que ambos, machos e fêmeas das três espécies de *Heliconius*, respondem negativamente à ação da poeira industrial e que à quantidade de passiflorácea age de maneira a aumentar a densidade em campo.

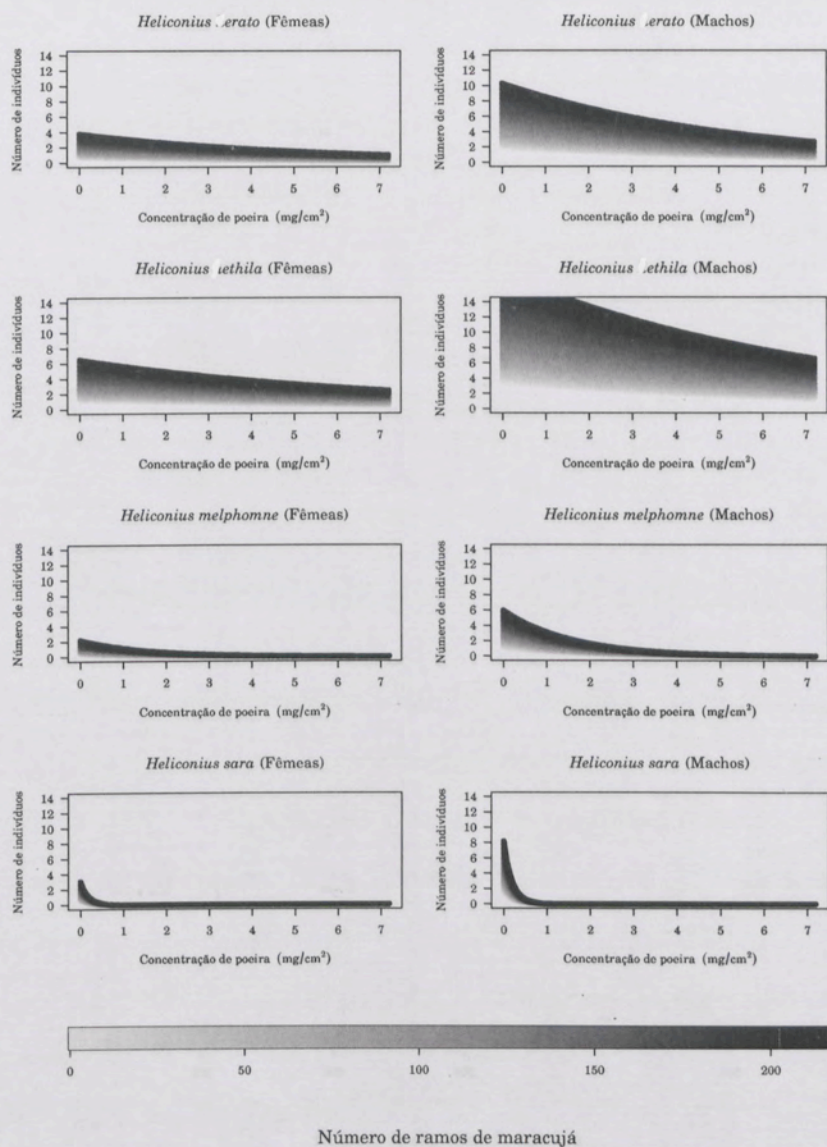


Figura 2 - Densidade de indivíduos adultos machos e fêmeas de *Heliconius* spp. e a sua variação de acordo com a poeira industrial e com a densidade de Passifloraceae. Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil.

Na **Figura 3** podemos observar que ambos, machos e fêmeas das três espécies de *Heliconius* respondem negativamente à ação da poeira industrial e que à quantidade de lantana age de maneira a aumentar a densidade em campo.

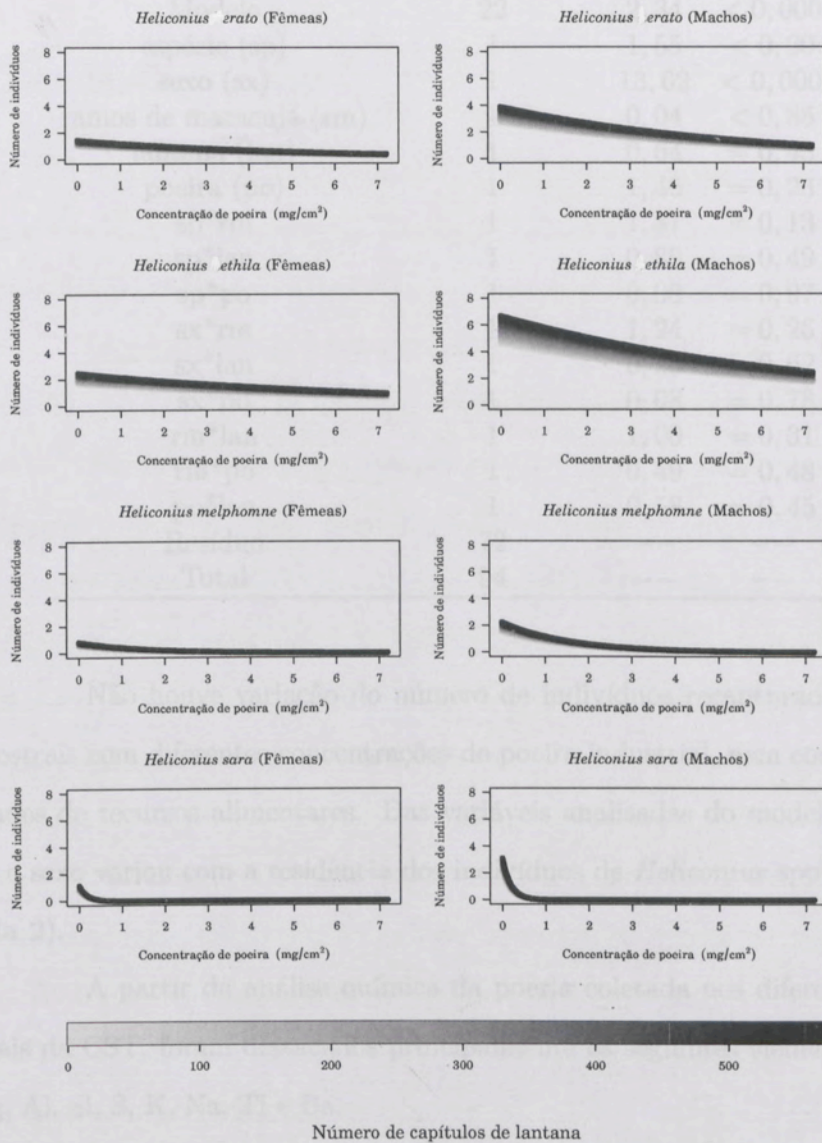


Figura 3 - Densidade de indivíduos adultos machos e fêmeas de *Heliconius* spp. e a sua variação de acordo com a poeira industrial e com a densidade de lantana. Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, Vitória, ES, Brasil.

Tabela 2 - Modelo completo da análise de residência, medida a partir do número de recaptura dos indivíduos adultos de *Heliconius* spp. nos pontos amostrais. Cinturão Verde da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, ES, Brasil.

Fonte variação	Grau liberdade	F	p
Modelo	22	2,34	< 0,000
espécie (sp)	1	1,55	< 0,20
sexo (sx)	1	13,62	< 0,000
ramos de maracujá (rm)	1	0,04	< 0,85
lantana (lan)	1	0,64	= 0,43
poeira (po)	1	1,46	= 0,23
sp*rm	1	1,87	= 0,13
sp*lan	1	0,80	= 0,49
sp*po	1	0,08	= 0,97
sx*rm	1	1,24	= 0,26
sx*lan	1	0,25	= 0,62
sx*po	1	0,08	= 0,78
rm*lan	1	1,00	= 0,31
rm*po	1	0,49	= 0,48
po*lan	1	0,58	= 0,45
Resíduo	72	--	--
Total	94	--	--

Não houve variação do número de indivíduos recapturados nos pontos amostrais com diferentes concentrações de poeira industrial, nem com diferentes densidades de recursos alimentares. Das variáveis analisadas do modelo completo, apenas o sexo variou com a residência dos indivíduos de *Heliconius* spp. em campo (Tabela 2).

A partir da análise química da poeira coletada nos diferentes pontos amostrais da CST, foram destacados principalmente os seguintes elementos: C, Fe, Ca, Mg, Al, Si, S, K, Na, Ti e Ba.

4 Discussão

Nossos resultados confirmam as hipóteses levantadas, de que ambos, recursos e condição, medida através da poeira industrial, são capazes de alterar as populações das borboletas *Heliconius* spp.

Os recursos alimentares atuaram de maneira distinta sobre as densidades dos *Heliconius* spp. Com efeito, os indivíduos são mais abundantes nos locais com maior número de passiflorácea, no entanto, o número de flores não afeta a densidade dessas borboletas. Esse resultado não era esperado, uma vez que há uma relação positiva entre a ingestão de pólen e a longevidade e fertilidade dos indivíduos desse gênero de borboletas (Gilbert, 1972). Essa mesma relação, com os recursos do adulto, foi constatada por Ehrlich & Gilbert (1973). Esses autores verificaram que há uma maior influência dos recursos alimentares na densidade dos indivíduos adultos de *H. ethilla*, do que na densidade de suas plantas hospedeiras.

Podemos inferir que a poeira afeta a qualidade da planta hospedeira ao observarmos que, embora o alto número de ramos de planta de maracujá e de capítulos de lantana, sejam capazes de sustentar altas densidades populacionais dessas borboletas, é evidente a redução do seu efeito, quando comparamos locais com baixas e altas concentrações de poeira industrial.

Por sua vez, a má qualidade da planta hospedeira pode representar uma limitação para as fêmeas. Mugarbi-Oliveira & DeSouza (prepa) ao testarem a escolha da planta hospedeira por fêmeas de *H. ethilla*, com diferentes concentrações

da poeira urbano-industrial, identificaram que os indivíduos preferem colocar seus ovos em plantas totalmente limpas.

Segundo Leather (1994) os insetos herbívoros repondem às trocas na qualidade de suas plantas hospedeiras de diferentes maneiras: eles podem produzir formas adaptadas à dispersão, podem produzir indivíduos capazes de sobreviver à condições adversas, ou podem extinguir-se devido à alta taxa de mortalidade.

A baixa recaptura de indivíduos de *Heliconius* spp. nos pontos com alta incidência de poeira industrial, quando comparados com os pontos de menor poluição atmosférica, permite-nos inferir que essas borboletas permanecem por menos tempo nos locais mais impactados, devido à dinâmica de migração, ou ainda, devido a uma possível mortalidade dos indivíduos nesses locais.

Ao analisarmos a constituição química da poeira industrial coletada nos diversos pontos do cinturão verde, pudemos identificar entre outros elementos, a presença de Fe, Ti e Al. Esses elementos, como outros metais, em determinadas concentrações possuem a capacidade de induzir mudanças nos organismos, provocando alterações significativas na taxa de sobrevivência das espécies (Landis & Yu, 1999).

A redução da densidade populacional de herbívoros, em alguns estudos, foi atribuída ao acúmulo de metais pesados pelos organismos, devido a sua proximidade com fontes emissoras contendo tais poluentes (Mankovska & Steinnes, 1995; Ruohomaki et al., 1996; Zvereva & Kozlov, 1995). A ação desses metais nas borboletas e nos seus recursos alimentares, presentes nos locais com alta incidência de poeira industrial, é possivelmente uma das causas proximais que desencadeou as alterações observadas nas populações de *Heliconius* spp. no cinturão verde da CST.

Nossos resultados nos permitem concluir que, um ambiente com altas incidências de material particulado industrial, é capaz de alterar o comportamento populacional de *Heliconius* spp.

Em nosso experimento a poluição provocou apenas redução na densidade dos indivíduos, mas não foi capaz de alterar o padrão de deslocamento das borboletas nos diferentes pontos do cinturão verde. Dessa forma, os efeitos da poluição, apesar de significativo, não é capaz de alterar o deslocamento dos indivíduos, que possuem área de vida restrita a pequenos ambientes providos de recursos disponíveis para manutenção de suas pequenas populações . A reduzida densidade desses herbívoros nas áreas com alta incidência de poeira industrial possivelmente é resultado da ação deletéria da poeira sobre os indivíduos (jovens e adultos), que pode atuar de maneira direta (nos indivíduos aultos e/ou lagartas) ou indireta (através dos recursos) e não devido à sua capacidade de alterar a dinâmica de deslocamento dos indivíduos de *Heliconius* spp., nos diferentes pontos do cinturão verde da CST.

5 Agradecimentos

Os nossos agradecimentos são para: Francisco Barreto e Adilson Albino pelo auxílio no trabalho de campo; Professor Mário de Castro pelo auxílio nas análises estatísticas; Yoki Nishida pela realização das análises química da poeira; à Edivanda Mugarbi pela correção dos manuscritos. À CST pela concessão de bolsa de estudo e por todo o apoio logístico oferecido durante a execução deste trabalho.

Azoreguez, F., Sellbreck, G., & Ives, A. R. (2001). Environmental forcing and high amplitude fluctuations in the population dynamics of the tropical butterfly *Acraea acerata* (Lepidoptera: Nymphalidae). *J. Anim. Ecol.*, 70, 1032-1045.

Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (1994). *Host plant selection by phytophagous insects*, chapter Behavior: the process of host-plant selection. (pp. 312). Chapman & Hall, New York.

Blair, B. & Lerner, A. (1997). Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 80, 113-125.

Brown, J. (1954). On the relationship between abundance and distribution of species. *Ecology*, 35(2), 255-279.

Brown, J., Mulligan, D., & Stevens, G. (1995). Spatial variation in abundance. *Ecology*, 76(7), 2392-2399.

Brown, K.K. (1993). Conservation of neotropical environments: insects as indicators. In J. Collins & M. de Thomas (Eds.), *The conservation of insects and their*

6 Referências Bibliográficas

- ABNT (1991). *Atmosfera. Determinação da taxa de poeira sedimentável total*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Angelo, M. & Slansky, F. (1984). Body building insects: trade-offs in resource allocation with particular reference to migration. *Fla. Entomol.*, 67, 22.
- Azerefegne, F., Solbreck, C., & Ives, A. R. (2001). Environmental forcing and high amplitude fluctuations in the population dynamics of the tropical butterfly *Acraea acerata* (Lepidoptera: Nymphalidae). *J. Anim. Ecol.*, 70, 1032–1045.
- Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (1994). *Host plant selection by phytophagous insects*, chapter Behavior: the process of host-plant selection., (pp. 312). Chapman & Hall. New York.
- Blair, B. & Launer, A. (1997). Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 80, 113–125.
- Brown, J. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. *Ecology*, 124(2), 255–279.
- Brown, J., Mehlman, D., & Stevens, G. (1995). Spatial variation in abundance. *Ecology*, 76(7), 2028–2043.
- Brown, K. S. (1991). Conservation of neotropical environments: insects as indicators. In J. Collins, N.M. & Thomas (Ed.), *The conservation of insects and their*

- habitats* (XV Royal Entomological Symposium of London ed.). (pp. 349–404). Academic Press, London.
- Crane, J. (1955). Imaginal behavior of a trinidad butterfly, *Heliconius erato hydara* Hewitson, with special reference to the social use of color. *Zoologica*, 40(4), 167–194.
- Danthanarayana, W. (1976). Environmentally cue size variation in light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (walk.) (Tortricidae), and its adaptative value in dispersal. *Oecologia*, 26, 121.
- Dempster, J. (1983). The natural control of populations of butterflies and moths. *Biol. Rev.*, 58, 461–481.
- Dohmen, G., McNeil, S., & J.N.Bell. (1984). Air pollution increases *Aphis fabae* pest potential. *Nature*, 52–53.
- Dover, J. (1996). Factors affecting the distribution of satyrid butterflies on arable farmland. *J. Appl. Ecol.*, 33(4), 723–734.
- Ehrlich, P. R. & Gilbert, L. E. (1973). Population structure and dynamics of the tropical butterfly *Heliconius ethila*. *Biotropica*, 5(2), 69–82.
- Gilbert, L. (1980). Food web organization and the conservation of neotropical diversity. In M. Soulé & A. Wilcox (Eds.), *Conservation Biology. An evolutionary-ecological perspective* chapter 2, (pp. 11–33). Sinauer Associates.
- Gilbert, L. & Singer, M. (1975). Butterfly ecology. *A. Rev. Ecol. Syst.*, 6, 365–397.
- Gilbert, L. E. (1972). Pollen feeding and reproductive biology of *Heliconius* butterflies. *Proc. Nat. Acad. sci. USA*, 69(6), 1403 – 1407.
- Hardy, P. & Dennis, R. (1999). The impact of urban development on butterflies within a city region. *Biodiversity and Conservation*, 8(9), 1261–1279.

- Hill, J. K. (1999). Butterfly spatial distribution and habitat requirements in a tropical forest: impacts of selective logging. *Journal of applied ecology*, 36, 564 – 572.
- Hughes, J. B. (2000). The scale of resource specialization and the distribution and abundance of lycaenid butterflies. *Oecologia*, 123, 375–383.
- Ihaka, R. & Gentleman, R. (1996). R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299–314.
- Koricheva, J. & Haukioja, E. (1995). Variations in chemical composition of birch foliage under air pollution stress and their consequences for *Eriocrania* miners. 88, 41–50.
- Landis, W. & Yu, M.-H. (1999). *Introduction to Environmental Toxicology. Impacts of chemical systems* (2 ed.). Lewis Publishers.
- Leather, S. (1994). Life history traits of insect herbivores in relation to host quality. In E. Bernays (Ed.), *Insect-Plant Interactions*, volume 5 chapter 6, (pp. 175–207). CRC Press Boca Raton.
- Luoto, M., Kuussaari, M., Rita, H., Salminen, J., & von Bonsdorff, T. (2001). Determinants of distribution and abundance in the clouded apollo butterfly: a landscape ecological approach. *Ecography*, 24, 601–617.
- Mankovska, B. & Steinnes, E. (1995). Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 163, 11–23.
- Mugrabi-Oliveira, E. & DeSouza, O. (prepa). O efeito da poeira atmosférica sedimentável na escolha da planta hospedeira realizada por *Heliconius ethilla* (Lep. heliconiinae).

- Mugrabi-Oliveira, E. & DeSouza, O. (prepb). O efeito da poluição atmosférica sedimentável no desenvolvimento de *Heliconius* spp. (Lep. Heliconiinae).
- Mugrabi-Oliveira, E. & Moreira, G. R. P. (1996). Size of and damage on shoots of *Passiflora suberosa* (Passifloraceae) influence oviposition site selection of *Heliconius erato phyllis* (Fabricius) (Lepidoptera, Nymphalidae). *Rev. Bras. Zool.*, 13(4), 939–953.
- Murphy, D. & White, R. (1984). Rainfall, resources, and dispersal in southern population of *Euphydryas editha* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Pan-Pacific Entomologist*, 60(4), 350–354.
- Penz, C. & Krenn, H. (2000). Behavioral adaptations to pollen-feeding in *Heliconius* butterflies (Nymphalidae, Heliconiinae): An experiment using Lantana flowers. *J Insect Behav*, 13(6), 865 – 880.
- Phillips, D. (1998). Bioaccumulation. In P. Calow (Ed.), *Handbook of ecotoxicology* chapter 19, (pp. 378–396). Blackwell Science.
- Ruohomaki, K., Kaitaniemi, P., Kozlov, M., Tammaru, T., & Haukioja, E. (1996). Density and performance of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) along three air pollution gradients in Northern Europe. *Journal of Applied Ecology*, 33, 773–785.
- Valladares, G. & Salvo, A. (2001). Community dynamics of leafminers (Diptera: Agromyzidae) and their parasitoids (Hymenoptera) in a natural habitat from central Argentina. *Acta Oecol.-Int. J. Ecol.*, 22, 301–309.
- Zvereva, E. & Kozlov, M. (1995). Effects of air pollution on natural enemies of the leaf beetle *Melasoma lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Applied Ecology*, 37, 298–308.

O EFEITO DA POEIRA ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL NA
ESCOLHA DA PLANTA HOSPEDEIRA REALIZADA POR
HELICONIUS ETHILLA (LEP. HELICONIINAE)

Mugrabi-Oliveira & E. DeSouza, O.

RESUMO

Em estudos prévios foi constatada uma redução na densidade populacional de *Heliconius* spp. nas áreas com maior incidência de poeira urbano-industrial. Com o objetivo de investigar um possível mecanismo causal para esse fato, estudamos a preferência de fêmeas de *Heliconius ethilla* por plantas de *Passiflora edulis* em oito concentrações (0,0 a 7,2mg/cm²) de poeira urbano-industrial. As fêmeas foram submetidas a testes de escolha simultânea. Nossos resultados confirmam a hipótese de que fêmeas de *H. ethilla* preferem ovipositar em plantas hospedeiras limpas. As posturas diminuem exponencialmente com o aumento das concentrações de poeira. Dessa forma é possível que as baixas densidades encontradas no campo seja devido ao comportamento de oviposição apresentado pela fêmea.

1 Introdução

No capítulo anterior constatamos uma redução na densidade de *Heliconius* spp. no complexo industrial da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), de modo que a densidade das borboletas diminui onde há alta incidência da poeira industrial. Diversos estudos mostram que poluentes atmosféricos podem afetar tanto diretamente os herbívoros, nos seus diferentes estágios do ciclo de vida (Hunter et al., 1987; Kozlov et al., 1996; Mankovska & Steinnes, 1995), quanto indiretamente, através da alteração das populações de seus inimigos naturais (Ruohomaki et al., 1996; Zvereva & Kozlov, 1995; Kozlov et al., 2000) e através da modificação da qualidade da planta hospedeira (Zvereva et al., 1995, 1997; Koricheva et al., 1998).

No capítulo referente à análise de sobrevivência, constatamos uma reduzida sobrevivência nas lagartas de *Heliconius* spp., quando submetidas ao alimento contaminado com poeira urbana-industrial. Apoiados neste dado, inferimos que a qualidade do alimento poderia estar provocando uma baixa eficiência metabólica das lagartas, o que levaria a uma redução de suas populações em campo.

Um mecanismo alternativo, capaz de explicar a redução das densidades populacionais dos herbívoros em questão, também pode ser a má qualidade da planta hospedeira. Entretanto, ao invés da poeira na planta causar um efeito deletério nas populações larvais, é possível que as fêmeas estejam escolhendo plantas com menor concentração de poeira industrial, o que iria reduzir a taxa de oviposição diária, e conseqüentemente, as populações em campo.

É bem conhecido que os insetos herbívoros são bastante seletivos com respeito à utilização de suas plantas hospedeiras (Jones, 1991; Bernays & Chapman, 1994; Papaj & Rausher, 1983). As lagartas não têm (ou têm pouca) possibilidade de escolher o seu alimento. Desse modo, a escolha da melhor hospedeira restringe-se basicamente à fêmea, que deverá escolher a planta que irá garantir o maior desempenho de sua prole (Feeny et al., 1983; Thompson, 1988; Leather, 1994).

Os lepidópteros, de uma maneira geral, inspecionam as plantas hospedeiras quanto a sua fenologia, cor, formato da folha, tamanho, estado nutricional, estresse, substâncias secundárias, entre outras variáveis (Singer, 1986). Muitas espécies de *Heliconius spp.*, além da monofagia, apresentam uma rígida escolha quanto à planta hospedeira. Essas borboletas são capazes ainda de detectar a qualidade da planta através do número de folhas (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996b), a idade da folha (Benson, 1978) e a presença de coespecíficos (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996a; Williams & Gilbert, 1981).

Há vários estudos que enfocam o desempenho do herbívoro sobre plantas estressadas com poluentes atmosféricos (Davies et al., 1992; Zvereva et al., 1995; Fortin et al., 1997; Trumble et al., 1998; Lappalainen et al., 1999). Porém, tais estudos abordam aspectos do indivíduo já em fase de lagarta, não considerando uma etapa anterior, que é a própria escolha da planta realizada pela fêmea.

A redução da densidade populacional de *Heliconius* em campo pode ser uma resposta à deposição da poeira industrial na planta hospedeira. Neste sentido, postulamos a hipótese de que as fêmeas colocam menos ovos nesses locais do cinturão verde, em razão da má qualidade da hospedeira. As fêmeas acasalam-se imediatamente após a emergência, ou ainda na fase de crisálida (Deinert et al., 1994). Em algumas espécies a primeira oviposição ocorre de 3 a 7 dias após a fecundação (Dunlap-Pianka et al., 1977). O comportamento de oviposição é padrão para a mai-

oria dos *Heliconius*. Previamente à oviposição, as fêmeas voadoras próximas às plantas realizando pequenos círculos, tocando-as repetidamente com suas antenas. Então elas pousam nas folhas e tamborilam a hospedeira buscando um local da planta para realizar a oviposição (Crane, 1955; Williams, 1983). As fêmeas realizam suas posturas isoladamente nas porções mais jovens das plantas. Esse comportamento reduz a competição intraespecífica que pode levar ao canibalismo (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996b). Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estudar, em condições de laboratório, a oviposição de *Heliconius ethilla* em plantas submetidas a diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

2.1. Biologia de *Heliconius* spp.

H. ethilla podem viver até 180 dias na natureza (Emlah & Gilbert, 1973). A longevidade do estágio adulto está relacionada à ingestão de aminoácidos obtidos através de pólen (Gilbert, 1972). As taxas diárias de oviposições podem ser mantidas constantes (5 a 7 ovos) ao longo da vida havendo disponibilidade de hospedeira energeticamente (Dunlap-Pianka et al., 1977).

As fêmeas acasalam-se imediatamente após a emergência, ou ainda na fase de crisálida (Ducort et al., 1974). Em algumas espécies a primeira oviposição ocorre de 3 a 7 dias após a fecundação (Dunlap-Pianka et al., 1977). O comportamento de oviposição é padrão para a maioria dos *Heliconius*. Previamente à oviposição, as fêmeas voadoras próximas às plantas realizando pequenos círculos, tocando-as repetidamente com suas antenas. Então elas pousam nas folhas e tamborilam a hospedeira buscando um local da planta para realizar a oviposição (Crane, 1955; Williams, 1983). As fêmeas realizam suas posturas isoladamente nas porções mais

2 Material e Métodos

O comportamento de oviposição foi estudado via teste de escolha simultânea em laboratório. Foram oferecidas às fêmeas *H. ethilla* diferentes concentrações de poeira sobre as folhas *Passiflora edulis*. Foi permitido que cada fêmea realizasse apenas uma postura (uma fêmea= um ovo) durante os experimentos.

2.1 Biologia de *Heliconius* spp.

H. ethilla podem viver até 180 dias na natureza (Ehrlich & Gilbert, 1973). A longevidade do estágio adulto está relacionada à ingestão de aminoácidos obtidos através de pólen (Gilbert, 1972). As taxas diárias de oviposições podem ser mantidas constantes (5 a 7 ovos) ao longo da vida havendo disponibilidade de dieta rica energeticamente (Dunlap-Pianka et al., 1977).

As fêmeas acasalam-se imediatamente após a emergência, ou ainda na fase de crisálida (Deinert et al., 1994). Em algumas espécies a primeira oviposição ocorre de 3 a 7 dias após a fecundação (Dunlap-Pianka et al., 1977). O comportamento de oviposição é padrão para a maioria dos *Heliconius*. Previamente à oviposição, as fêmeas vôm próximas às plantas realizando pequenos círculos, tocando-as repetidamente com suas antenas. Então elas pousam nas folhas e tamborilam a hospedeira buscando um local da planta para realizar a oviposição (Crane, 1955; Williams, 1983). As fêmeas realizam suas posturas isoladamente nas porções mais

jovens das plantas. Esse comportamento reduz a competição intraespecífica que pode levar ao canibalismo (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996b).

2.2 Descrição dos viveiros

Para a condução do experimento foram utilizados dois viveiros. Viveiro um (v1), destinado para a manutenção dos indivíduos adultos, e viveiro dois (v2) destinados à condução do experimento propriamente dito.

As fêmeas testadas foram provenientes da criação de laboratório. Todas estas dependências encontram-se localizadas no Centro de Educação Ambiental da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Serra, Espírito Santo, Brasil.

O v1 consistiu de uma área telada com as dimensões de 5x5x7m (altura x largura x comprimento). No interior deste viveiro foram plantadas *Lantana camara* e *Pentas lanceolata* cujas flores serviram de alimento natural para as borboletas. Adicionalmente a estas flores, todos os dias o viveiro era suprido de uma dieta artificial rica em açúcares e aminoácidos (solução aquosa à base de mel e pólen), oferecida em alimentadores de plástico. Foram mantidos machos de *H. ethilla* para a fecundação das fêmeas, que logo após a emergência no laboratório de criação, eram encaminhadas a este viveiro. Este recinto também foi suprido de altas densidades de plantas de maracujá (*Passiflora edulis*) para a realização das primeiras oviposições (aproximadamente com sete dias). Apenas as fêmeas que se alimentavam e que realizaram posturas foram submetidas ao experimento.

O v2 também consistia de uma estrutura telada de 3m de diâmetro e 2,6m de altura. No interior deste foram estipuladas oito posições ao longo de seu perímetro (de aproximadamente 37cm entre cada uma), destinadas à receber as plantas hospedeiras dos testes **Figura 1**. Para evitar a influência da localização da hospedeira na escolha realizada pela fêmea, diariamente era realizado um rodízio das

posições no interior do v2 (sentido horário), de tal maneira que as plantas contendo as diferentes concentrações de poeira, assumiram todas as oito posições ao longo do experimento 1.

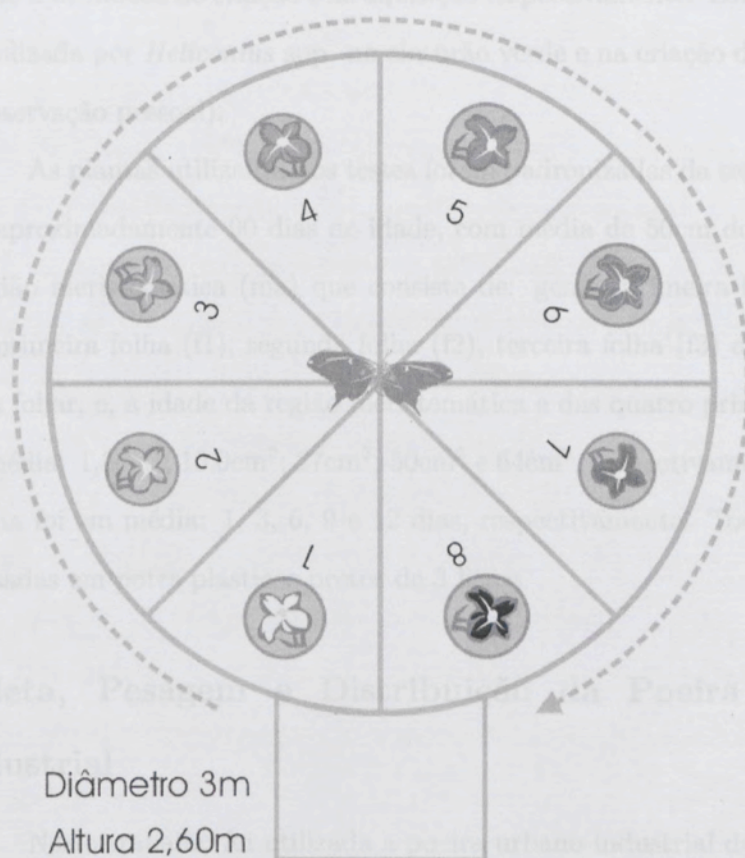


Figura 1 - Representação esquemática do viveiro de realização do experimento (v2). Os compartimentos enumerados (1 a 8) são as posições, com delineamento imaginário, destinados a receber as plantas hospedeiras. Foi testado um gradiente de concentração de poeira urbano-industrial que variou de 0,0 a $7,2\text{mg}/\text{cm}^2$ sobre as folhas. A seta pontilhada indica o sentido horário da mudança das posições da plantas ao longo do experimento.

Durante os testes este viveiro era também suprido de dieta artificial, disponível em um alimentador localizado no centro do viveiro a aproximadamente 0,5cm do solo.

2.3 Planta hospedeira

A escolha desta espécie de borboleta (*H. ethila*) e plantas de *P. edulis* deu-se devido à facilidade de criação e de aquisição respectivamente. Esta planta hospedeira é utilizada por *Heliconius* spp. no cinturão verde e na criação de laboratório da CST (observação pessoal).

As plantas utilizadas nos testes foram padronizadas da seguinte forma: plantas de aproximadamente 90 dias de idade, com média de 50cm de altura, contendo a região meristemática (ma) que consiste de: gema, primeira folha fechada e gavinha; primeira folha (f1), segunda folha (f2), terceira folha (f3) e quarta folha (f4). A área foliar, e, a idade da região meristemática e das quatro primeiras folhas, mediu em média: 1,5cm²; 10,0cm²; 27cm²; 50cm² e 64cm², respectivamente. A idade de cada folha foi em média: 1, 3, 6, 9 e 12 dias, respectivamente. Todas as plantas foram envasadas em potes plásticos pretos de 3 litros.

2.4 Coleta, Pesagem e Distribuição da Poeira Urbano-Industrial

Neste trabalho foi utilizada a poeira urbano-industrial devido à facilidade de coletá-la em grandes quantidades e também devido à sua composição química ser semelhante ao material particulado da CST (Mugrabi-Oliveira et al., prep).

A poeira urbano-industrial foi coletada em Jardim Camburi, um bairro com uma das maiores incidências de material particulado sedimentável de Vitória (Silva, 2001).

A coleta da poeira deu-se de maneira ativa com o auxílio de uma escova de cerdas flexíveis, em uma superfície de alvenaria de um prédio. Foram estipuladas 8 (oito) concentrações de poeira: 0,0; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2; 6,2; e 7,2mg/cm². Esse

intervalo de concentração de poeira foi o mesmo encontrado no cinturão verde da CST (Mugrabi-Oliveira et al., prep).

Para obtenção da quantidade de poeira a ser distribuída nas regiões das plantas (ma, f1, f2, f3 e f4), a área foliar foi multiplicada pelo tempo (dias) em que a porção da planta estaria submetida à poeira em campo.

No laboratório, a poeira coletada foi pesada em balança analítica com quatro casas decimais. Uma vez pesado o material foi acondicionado individualmente em envelopes de papel vegetal, com pequena porosidade. Previamente aos testes a poeira era cuidadosamente distribuída na planta hospedeira, com auxílio de um pincel fino, de modo a homogeneizar a poeira em toda a área foliar.

Para evitar que a poeira fosse dispersada da planta hospedeira, a porção inferior da tela do v2 (a aproximadamente 1,5cm de altura) foi revestida com plástico transparente. A porção superior do viveiro foi mantida descoberta para minimizar o aumento de temperatura no interior do mesmo.

Em dias alternados as plantas que não receberam posturas eram descartadas e substituídas por outras com as mesmas características morfológicas e igual concentração de poeira.

2.5 Testes de oviposição

Foram testadas um total de 28 fêmeas, de aproximadamente 10 dias de idade, durante o período de abril a maio de 2002, no período diário de maior oviposição (9 às 14h).

As fêmeas foram testadas individualmente em experimento de escolha simultânea. Durante os testes era oferecida a uma fêmea uma planta contendo cada uma das oito concentrações de poeira. O teste iniciava-se quando o indivíduo era liberado cuidadosamente no centro do v2, e encerrava-se após a sua primeira postura.

Anteriormente à liberação de uma nova fêmea no v2, a planta que recebia a postura era substituída por uma nova, com as mesmas características morfológicas e com igual concentração de poeira em sua área foliar.

Todo o teste foi acompanhado por um observador localizado externamente ao viveiro, que anotava os seguintes dados: número da borboleta, horário da postura, concentração de poeira da planta ovipositada e localização do ovo na planta (região meristemática, f1 a f4).

2.6 Análise dos dados

Para a análise estatística utilizou-se o sistema estatístico R (Ihaka & Gentleman, 1996). Foram utilizados modelos lineares generalizados, com distribuição binomial, cujas variáveis foram: dependente (y) = número de fêmeas que ovipositaram numa determinada concentração dividido pelo total de fêmeas; e variável independente (x) = concentração de poeira (mg/cm^2) nas plantas hospedeiras.

3 Resultados

Frequentemente as fêmeas reagiram de maneira semelhante ao serem liberadas no interior do viveiro de teste. Nos primeiros minutos elas tornavam-se imóveis e em seguida realizavam vôos irregulares na parte superior do viveiro. Após a alimentação, os indivíduos passavam a voar baixo em busca do alimentador e das plantas hospedeiras.

Foram testadas em média duas fêmeas por dia. As fêmeas de *H. ethilla* preferem ovipositar em plantas hospedeiras limpas. Com efeito, as posturas diminuíram exponencialmente com o aumento das concentrações de poeira sobre *P. edulis* (Figura 2).

Anteriormente à oviposição as fêmeas inspecionavam alternadamente as plantas, tocando com a porção distal de suas asas anteriores as folhas e a região meristemática. Após alguns minutos de inspeção, elas assumiam a postura de oviposição (de cabeça para baixo e com o abdômem recurvado sobre a porção da planta), quando então realizavam a postura do ovo.

4. Discussão Das 28 oviposições realizadas pelas 28 fêmeas, 78.57% dos ovos foram colocados na região meristemática, os demais ovos foram colocados nas porções abaixo desta, até a primeira folha.

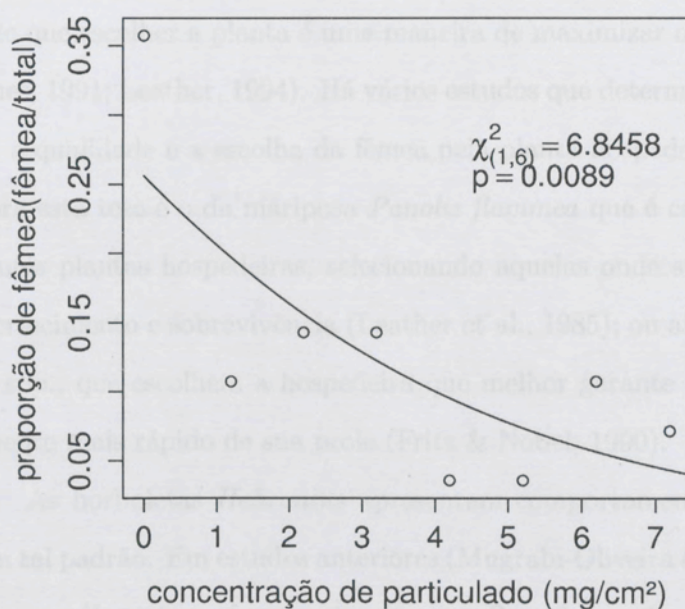


Figura 2 - Oviposição de *H. ethilla* (n=28) em testes de escolha simultânea com plantas de *P. edulis* contaminadas com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

4 Discussão

Nossos resultados confirmam a hipótese de que fêmeas de *H. ethilla* evitam colocar ovos em plantas com poeira. Esse resultado corrobora com outros estudos que demonstram que *Heliconius* inspecionam acuradamente suas plantas hospedeiras com suas antenas, asas e com o primeiro par de pernas, respondendo a estímulos visuais e olfativos (Crane, 1955; Benson, 1978; Gilbert, 1972).

Embora haja controvérsias acerca da escolha do sítio de oviposição (Singer, 1984; Auerbach & Simberloff, 1989; Valladares & Lawton, 1991), há fortes evidências de que escolher a planta é uma maneira de maximizar o "fitness" dos herbívoros (Jones, 1991; Leather, 1994). Há vários estudos que determinam uma relação direta entre a qualidade e a escolha da fêmea pela planta hospedeira. Um exemplo que corrobora esta tese é o da mariposa *Panolis flammea* que é capaz de distinguir entre diferentes plantas hospedeiras, selecionando aquelas onde suas lagartas atingem maior crescimento e sobrevivência (Leather et al., 1985); ou ainda o das vespas, *Phyllocolpa* spp., que escolhem a hospedeira que melhor garante o crescimento e o desenvolvimento mais rápido de sua prole (Fritz & Nobel, 1990).

As borboletas *Heliconius* apresentam comportamentos de oviposição que reforçam tal padrão. Em estudos anteriores (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996b) identificaram que *H. erato* preferem ovipositar em *Passiflora suberosa* com o seu meristema apical intacto e com cinco folhas. Mais recentemente, Rodrigues & Moreira (1999), identificaram que as lagartas dessa mesma espécie necessitam de pelo menos quatro folhas de *P. suberosa* para completar o seu estágio larval. O fato de *H. ethilla* preferirem plantas destituídas de poeira, sugere que as fêmeas escolhem plantas adequadas para a sua futura prole.

Para selecionar a planta hospedeira, os herbívoros primeiramente precisam localizá-la, e posteriormente, identificá-la quanto à sua qualidade. Ambos processos são mediados através de mecanismos visuais e olfativos (Bernays & Chapman, 1994). O primeiro mecanismo é desencadeado a partir de pistas físicas como: formato, tamanho, coloração, orientação, textura, entre outras características da planta (Bernays & Chapman, 1994; Leather, 1994). O mecanismo olfativo é utilizado pela fêmea através de pistas químicas, como substâncias atraentes, repelentes, estimu-

lantes e inibidores, presentes nas plantas hospedeiras (Feeny et al., 1983; Papaj & Rausher, 1983; Bernays & Chapman, 1994).

No caso do nosso experimento, a deposição da poeira urbano-industrial sobre as folhas de *P. edulis* pode ter alterado ambos mecanismos. É possível que fêmeas de *H. ethilla* ovipositarem menos nas plantas com poeira por não conseguirem localizá-las, quimicamente e/ou visualmente.

Em seu estudo, Showler (2002) demonstra que fêmeas da mariposa *Spodoptera exigua* quando submetidas a hospedeiras com e sem kaolin (um filme branco composto de partículas minerais) ovipositaram 31% mais nas plantas livres desse componente. O autor explica que esse produto pode ter agido de duas maneiras: como uma barreira física, tornando a hospedeira irreconhecível para a mariposa, ou como uma barreira química, agindo como um produto inibidor, capaz de repelir as fêmeas.

As pistas visuais parecem ser mais determinantes para as borboletas em questão (Gilbert, 1972). Sabe-se que *Heliconius* apresentam olhos bem desenvolvidos e utilizam-se da visão como o principal mecanismo para a identificação de sua planta hospedeira. Mugrabi-Oliveira & Moreira (1996a) através de experimentos com coespecíficos inertes introduzidos na planta hospedeira, comprovaram que fêmeas de *H. erato* utilizam-se da visão evitando tais plantas. Williams & Gilbert (1981) também identificaram mecanismos visuais em *Heliconius*. Esses autores verificaram que plantas destituídas de ovos mímicos e plantas sem nectários extra-florais (semelhantes a ovos) são evitadas pelas espécies.

Visualmente a poeira sobre as folhas de *P. edulis* pode diminuir o poder de reflexão da luz, dificultando a sua localização por *H. ethilla*. Um fenômeno semelhante a este é descrito para a borboleta *Pieris brassicae* que, quando submetida a diferentes hospedeiras, ovipositam apenas em plantas um restrito comprimento de

onda (Scherer & Kolb, 1987). É possível que, no campo, as fêmeas de *Heliconius* spp. estejam também evitando ovipositar em plantas com poeira. Grande parte das posturas encontradas na área de maior emissão de poeira industrial ($7,01\text{mg}/\text{cm}^2/30\text{dias}$) do cinturão verde da CST (Mugrabi-Oliveira et al., prep), foram identificadas em plantas pequenas com aproximadamente 20cm de altura (obs. pessoal). Em outras palavras, plantas pequenas, além de terem menos tempo de exposição, estão mais protegidas da poeira industrial, o que poderia induzir à preferência dessas pelas fêmeas no cinturão verde da CST.

Tammaru & Javois (2000) estudando em laboratório o comportamento de oviposição de três espécies de mariposas geometrídeos, constataram que o tempo inicial para as fêmeas realizarem suas primeiras posturas é fortemente influenciado pela presença da planta hospedeira. Os autores discutem que esse comportamento deva influenciar fortemente a dinâmica das suas populações, sendo esperado que fêmeas se dispersem dos locais onde não haja estímulo para a oviposição.

Em estudo já mencionado (Mugrabi-Oliveira & Moreira, 1996b) também identificaram que fêmeas de *H. erato* reduzem a sua capacidade de oviposição, retendo seus ovos quando há baixa na qualidade de *P. suberosa*. Dessa forma, o fato das fêmeas evitarem plantas hospedeiras com poeira, pode ser um dado relevante para explicar a redução da densidade populacional de *Heliconius*, no cinturão verde da CST.

5 Agradecimentos Bibliográficas

Os nossos agradecimentos são para Eraldo Lima pelo auxílio no delineamento experimental. Para Perla Ribeiro, Fernanda de Souza e Fabrício Fonseca, pelo auxílio nos experimentos laboratoriais. À Edivanda Mugarbi pela correção dos manuscritos. E à CST, pela concessão de bolsa de estudo e por todo o apoio logístico oferecido durante a execução deste trabalho.

Bernays, E. A., & Chapman, R. F. (1994). *Host plant selection by phytophagous insects: insight into Behavior: the process of host-plant selection*, pp. 312. Chapman & Hall, New York.

Crane, J. (1956). Inaugural behavior of a trinidadian distygid, *St. pascalis* *crata* *hydra* *hawitton*, with special reference to the social use of robs. *Zoologica*, 29(4), 167-194.

Davies, M., Dutton, A., & Pock, G. (1992). Fluoride loading of larvae of pine sawfly from a point source. *Journal of Applied Ecology*.

Deinert, E., Langer, J., & Gilbert, L. (1994). *Mind was released to butterflies*. *Nature*, 372, 23-24.

Doolan-Prude, H., Dugan, C., & Gilbert, L. (1977). *Oviposition dynamics in Heliconius butterflies: programmed senescence versus eternal youth*. *Science*, 197(4323), 487-490.

Ehrlich, P. R., & Gilbert, L. E. (1973). *Population structure and dynamics of the tropical butterfly Heliconius erato*. *Biological*, 5(2), 69-82.

6 Referências Bibliográficas

- Auerbach, M. & Simberloff, D. (1989). Oviposition site preference and larval mortality in a leaf-mining moth. *Ecological Entomology*, 14, 131-140.
- Benson, W. W. (1978). Resource partitioning in passion vine butterflies. *Evolution*, 32(2), 493-518.
- Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (1994). *Host plant selection by phytophagous insects*, chapter Behavior: the process of host-plant selection., (pp. 312). Chapman & Hall. New York.
- Crane, J. (1955). Imaginal behavior of a trinidad butterfly, *Heliconius erato hydara* Hewitson, with special reference to the social use of color. *Zoologica*, 40(4), 167-194.
- Davies, M., Davison, A., & Port, G. (1992). Fluoride loading of larvae of pine sawfly from a pollutes site. *Journal of Applied Ecology*.
- Deinert, E., Longino, J., & Gilbert, L. (1994). Mate competition in butterflies. *Nature*, 379, 23-24.
- Dunlap-Pianka, H., Boggs, C., & Gilbert, L. (1977). Ovarian dynamics in Heliconiine Butterflies - programmed senescence versus eternal youth. *Science*, 197(4302), 487 - 490.
- Ehrlich, P. R. & Gilbert, L. E. (1973). Population structure and dynamics of the tropical butterfly *Heliconius ethila*. *Biotropica*, 5(2), 69-82.

Feeny, P., Rosenberry, & Carter, M. (1983). Chemical aspects of oviposition behavior in butterflies. In S. Ahmad (Ed.), *Herbivorous Insects - Host-seeking behavior and mechanisms* chapter 2, (pp. 27-75). Academic Press.

Fortin, M., Mauffette, Y., & Albert, P. (1997). The effects of ozone-exposed sugar maple seedlings on the biological performance and the feeding preference of the forest tent caterpillar *Malacosoma disstria* hbn. *Environmental Pollution*, 97(3), 302-309.

Fritz, R. & Nobel, J. (1990). Host plant variation in mortality of the leaf-folding sawfly on the arroyo willow. *Ecol. Entomol.*, 15, 25.

Gilbert, L. E. (1972). Pollen feeding and reproductive biology of *Heliconius* butterflies. *Proc. Nat. Acad. sci. USA*, 69(6), 1403 - 1407.

Hunter, B., Johnson, M., & Thompson, D. (1987). Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem. ii. invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 24, 587-599.

Ihaka, R. & Gentleman, R. (1996). R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299-314.

Jones, R. (1991). *Reproductive behaviour of insects individuals and populations*, chapter chapter 5. Host location and oviposition on plants, (pp. 109-138). Chapman & Hall.

Koricheva, J., Larsson, S., & Haukioja, E. (1998). Insect performance on experimentally stressed woody plants: A meta-analysis. *Annu Rev Entomol*, 43, 195-216.

Kozlov, M., Haukioja, E., & Kovnatsky, E. (2000). Uptake and excretion of nickel and copper by leaf-mining larvae of *Eriocrania semipurpurella* (Lepidoptera: Eri-

ocraniidae) feeding on contaminated birch foliage. *Environmental Pollution*, 108, 303–310.

Kozlov, M., Zvereva, E., & Selikhovkin, A. (1996). Decreased performance of *Melasma lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae) fumigated by sulphur dioxide: direct toxicity versus host plant quality. *Environ. Entomol.*, 25, 143–146.

Lappalainen, J., J., K., Helander, M., & Haukioja, E. (1999). Densities of endophytic fungi and performance of leafminer (Lepidoptera: Eriocraniidae) on birch along a pollution gradient. *Environmental Pollution*, 104, 99–105.

Leather, S. (1994). Life history traits of insect herbivores in relation to host quality. In E. Bernays (Ed.), *Insect-Plant Interactions*, volume 5 chapter 6, (pp. 175–207). CRC Press Boca Raton.

Leather, S., Ward, S., & Dixon, A. (1985). The effect of host plant and delayed mating on the fecundity and lifespan of the pine beauty moth, *Panolis flammea* (Denis & Schiffermuller) (Lepidoptera: Noctuidae): their influence on population dynamics and relevance to pest management. *Bull. Entomol. Res.*, 75, 641.

Mankovska, B. & Steinnes, E. (1995). Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 163, 11–23.

Mugrabi-Oliveira, E. & DeSouza, O. (prep). O efeito da poluição atmosférica sedimentável no desenvolvimento de *Heliconius* spp. (Lep. Heliconiinae).

Mugrabi-Oliveira, E., DeSouza, O., & Reis Jr., R. (prep). Determinantes da população de *Heliconius* spp. (Lep. heliconiinae) em um complexo siderúrgico: efeito dos recursos alimentares e da poeira atmosférica sedimentável industrial.

- Mugrabi-Oliveira, E. & Moreira, G. R. P. (1996a). Conspecific mimics and low host plant availability reduce egg laying by *Heliconius erato phyllis* (Fabricius) (Lepidoptera, Nymphalidae). *Rev.Bras. Zool.*, 13(4), 929–937.
- Mugrabi-Oliveira, E. & Moreira, G. R. P. (1996b). Size of and damage on shoots of *Passiflora suberosa* (Passifloraceae) influence oviposition site selection of *Heliconius erato phyllis* (Fabricius) (Lepidoptera, Nymphalidae). *Rev.Bras. Zool.*, 13(4), 939–953.
- Papaj, D. & Rausher, M. (1983). Individual variation in host location by phytophagous insects. In S. Ahmad (Ed.), *Herbivorous Insects - Host-seeking behavior and mechanisms* chapter 3, (pp. 77–124). Academic Press.
- Rodrigues, D. & Moreira, G. (1999). Feeding preference of *Heliconius erato* (Lep.: Nymphalidae) in relation to leaf age and consequences for larval performance. *Journal of the Lepidopterists Society*, 53(3), 108–113.
- Ruohomaki, K., Kaitaniemi, P., Kozlov, M., Tammaru, T., & Haukioja, E. (1996). Density and performance of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) along three air pollution gradients in Northern Europe. *Journal of Applied Ecology*, 33, 773–785.
- Scherer, C. & Kolb, G. (1987). Behavioral experiments on the visual processing of color stimuli in *Pieris brassicae* l. (lepidoptera). *J. Com. Physiol.*, 160, 645–656.
- Showler, A. (2002). Effects of kaolin particle film on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), oviposition, larval feeding and development on cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 1–7.

- Silva, A. (2001). *Relatório anual de qualidade do ar 2000-2001*. Governo do Estado do Espírito Santo. Secretaria de Estado para Assuntos do Meio Ambiente-SEAMA.
- Singer, M. C. (1984). Butterfly-hostplant relationships: Host quality, adult choice and larval success. In P. Vane-Wright e Ackery (Ed.), *The Biology of Butterflies* chapter 7, (pp. 81-88). Springer-Verlag.
- Singer, M. C. (1986). The definition and measurement of oviposition preference in plant-feeding insects. In T. Miller, J.R e Miller (Ed.), *Insect-Plant Interactions* chapter 3, (pp. 65-94). Springer-Verlag.
- Tammaru, T. & Javois, J. (2000). Responses of ovipositing moths (Lepidoptera: Geometridae) to host plant deprivation: life-history aspects and implications for population dynamics. *Population Ecology*, 29(5), 1002-1010.
- Thompson, J. (1988). Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insect. *Entomologia experimentalis et applicata*, 47, 3-14.
- Trumble, J., Kund, G., & White, K. (1998). Influence of form and quantity of selenium on the development and survival of an insect herbivore. *Environmental Pollution*, 101, 175-182.
- Valladares, G. & Lawton, J. (1991). Host-plant selection in the holly leaf-miner: does mother know best? *Journal of Animal Ecology*, 60, 227-240.
- Williams, K. (1983). The coevolution of *Euphydryas chalcedona* butterflies and their larval host plants. iii. oviposition behavior and host plant quality. *???*, 56, 336-340.

Williams, K. S. & Gilbert, L. E. (1981). Insects as selective agents on plants vegetative morphology: egg mimicry reduces egg laying by butterflies. *Science*, 212, 467-469.

Zvereva, E. & Kozlov, M. (1995). Effects of air pollution on natural enemies of the leaf beetle *Melasoma lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Applied Ecology*, 37, 298-308.

Zvereva, E., Kozlov, M., & Haukioja, E. (1997). Stress responses of *Salix borealis* to pollution and defoliation. *J. Appl. Ecol.*, 34(6), 1387 - 1396.

Zvereva, E., Kozlov, M., & Neuvonen, S. (1995). Population density and performance of *Melasoma lapponica* (coleoptera: Chrysomelidae) in surroundings of melter complex. *Environ. Entomol.*, 24(3), 707-715.

O EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SEDIMENTÁVEL NO DESENVOLVIMENTO DE *Heliconius* spp. (LEP. HELICONIINAE)

Mugrabi-Oliveira & E. DeSouza, O.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi investigar o efeito da poeira urbano-industrial no desenvolvimento larval de *H. ethilla* e *H. erato* em condições de laboratório. As lagartas de ambas espécies foram alimentadas com folhas da planta hospedeira (*P. edulis*) contendo um gradiente de concentração de poeira de 0,7 a 7,1mg/cm². A poeira consiste de partículas sedimentáveis com diâmetro superior à 100 micras que, sob ação da gravidade, depositam-se sobre as superfícies dos materiais. O desenvolvimento das lagartas e crisálidas foi avaliado a partir dos seguintes parâmetros: sobrevivência (tempo para a morte do indivíduo) dos indivíduos de lagarta até a emergência da borboleta adulta, peso da crisálida e tamanho dos indivíduos adultos. Os nossos resultados indicam que a concentração do material particulado afeta negativamente todos os parâmetros estudados. Serão discutidos uma possível ação deletéria dos metais pesados, identificados na dieta poeira urbano-industrial, e suas prováveis consequências para a redução da densidade populacional em campo.

1 Introdução

Os poluentes atmosféricos podem ser divididos em gasosos e sólidos, sendo os últimos também conhecidos como material particulado. Dentre a poluição atmosférica sólida os poluentes são diferenciados de acordo com o tamanho do diâmetro da partícula em três categorias: ultra fina (0,001 a 0,1 μm), fina (0,1 a 1,0 μm) e grossa (1,0 a 100 μm) (Fenger, 1999). As partículas ultra finas e finas são consideradas inalantes, pois são leves e ficam em suspensão no ar, podendo ser facilmente inaladas pelos organismos. As partículas grossas são consideradas partículas sedimentáveis e frequentemente, são depositadas sobre superfícies (Fenger, 1999).

As partículas atmosféricas sedimentáveis, propriamente ditas, geralmente não são tóxicas, o que lhes confere toxicidade são substâncias químicas como compostos orgânicos menos voláteis e metais pesados, que frequentemente encontram-se adsorvidas em sua superfície (Fenger, 1999).

Convencionou-se chamar de metais pesados todos aqueles elementos que mesmo com densidade cinco vezes maior do que a da água, possuem características químicas de metais e que são potencialmente danosos, podendo causar problemas ambientais (Walker et al., 1997; Depledge et al., 1998).

A poluição atmosférica de uma maneira geral pode afetar os organismos através da contaminação direta do poluente no corpo do indivíduo, ou indiretamente, através do alimento e/ou água ingerida (Walker et al., 1997). Há registros de que o acúmulo de poluente no organismo vivo provoca alterações significativas em sua

sobrevivência (Hopkin, 1995; Mankovska & Steinnes, 1995). Os efeitos diretos são frequentemente estudados através da avaliação quantitativa e qualitativa de compostos químicos nos tecidos corporais.

Diversos estudos a respeito dos efeitos dos poluentes já foram realizados com insetos. Os efeitos indiretos, testados frequentemente, avaliam o desempenho de herbívoros em plantas submetidas às condições de estresse (Scriber, 1984; Waring & Cobb, 1992; Zvereva et al., 1995; Koricheva et al., 1998). Sabe-se que o poluente pode alterar fisiologia e conseqüentemente a qualidade química da planta. Essas alterações podem levar a uma modificação na taxa de crescimento, sobrevivência e fecundidade dos insetos, quando submetidos a tais condições (Rhoades, 1983).

A resposta dos organismos frente à ação dos poluentes atmosféricos resultam em reações variadas às suas populações (Phillips, 1998). É possível que haja uma redução em sua densidade, devido aos efeitos deletérios sobre os indivíduos (Ruohomaki et al., 1996; Mankovska & Steinnes, 1995), a densidade populacional pode manter-se estável, devido à tolerância adquirida pelos indivíduos aos poluentes (Koricheva & Haukioja, 1995), e por fim, as populações podem beneficiar-se das condições de estresse e aumentar sua densidade. Esta resposta pode ser explicada através do efeito negativo da poluição sobre as plantas, que as tornam mais suscetíveis aos herbívoros e/ou, através da eliminação de seus inimigos naturais (Dohmen et al., 1984; Zvereva & Kozlov, 1995).

Constatamos no primeiro capítulo que a densidade populacional das borboletas *Heliconius* spp. diminui nos locais de vegetação com alta incidência de poluição atmosférica sedimentável (poeira industrial), no complexo industrial da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Espírito Santo, Brasil. Tal poeira consiste de partículas sedimentáveis com diâmetro superior à 100 micras, que sofrem ação da gravidade e depositam sobre superfícies dos materiais (ABNT, 1991). Enquanto as

borboletas adultas deste gênero alimentam-se de néctar e pólen de flores de várias espécies de plantas, as lagartas alimentam-se exclusivamente de folhas de maracujá (*Passifloraceae*), variando de folhas jovens a velhas, de acordo com seu estágio de desenvolvimento (Alexander, 1961; Rodrigues & Moreira, 1999). O desenvolvimento do ciclo completo, de ovo a imago, é de aproximadamente 30 dias, podendo a fase adulta estender-se até seis meses na natureza (Brown, 1981). As espécies, com poucas exceções, realizam cinco ecdises ao longo de sua fase larval (Beebe et al., 1960). Há alta mortalidade nos primeiros estágios larvais, devido principalmente à dessecação e à predação por formigas (Smiley, 1995). As lagartas de *H. ethilla* e *H. erato* alimentam-se progressivamente da região mais nova para a mais velha da planta. Rodrigues & Moreira (1999) verificaram que *H. erato* alimentam-se de sete folhas (aproximadamente 150cm^2) de *Passiflora suberosa* durante todo seu estágio larval. Inicialmente as lagartas apresentam-se com tamanho de aproximadamente 0,5cm, podendo alcançar até 3,5cm de comprimento. Os estágios larvais das espécies estudadas são facilmente distinguidas pelo padrão de coloração e através da quetotaxia da cápsula cefálica (Beebe et al., 1960).

Sabendo que esse gênero de borboletas é típico de ambientes alterados antropicamente (Brown, 1981) e que são naturalmente tolerantes às condições adversas impostas pelo meio, estariam as populações das larvas sendo reduzidas devido ao efeito negativo da poeira industrial na CST?

Com o objetivo de testar a hipótese de que as populações de *Heliconius* spp. estão sendo reduzidas devido à ação da poeira industrial, neste trabalho investigaremos o efeito da dieta contaminada com poeira urbano-industrial, no desenvolvimento dessas borboletas, em condições de laboratório.

2 Material e Métodos

O desenvolvimento das lagartas e crisálidas foi avaliado a partir dos seguintes parâmetros: sobrevivência (tempo para a morte do indivíduo); peso da crisálida, e tamanho dos indivíduos adultos.

As lagartas de *Heliconius erato* e *Heliconius ethilla* receberam dieta de (*Passiflora edulis*) contendo diferentes concentrações de poeira.

2.1 Biologia de *Heliconius* spp.

Enquanto as borboletas adultas deste gênero alimentam-se de néctar e pólen de flores de várias espécies de plantas, as lagartas alimentam-se exclusivamente de folhas de maracujá (*Passifloraceae*), variando de folhas jovens a velhas, de acordo com seu estágio de desenvolvimento (Alexander, 1961; Rodrigues & Moreira, 1999).

O desenvolvimento do ciclo completo, de ovo a imago, é de aproximadamente 30 dias, podendo a fase adulta estender-se até seis meses na natureza (Brown, 1981). As espécies, com poucas exceções, realizam cinco ecdises ao longo de sua fase larval (Beebe et al., 1960).

Há alta mortalidade nos primeiros estágios larvais, devido principalmente à dessecação e à predação por formigas (Smiley, 1995).

As lagartas de *H. ethilla* e *H. erato* alimentam-se progressivamente da região mais nova para a mais velha da planta. Rodrigues & Moreira (1999) verificaram que *H. erato* alimentam-se de sete folhas (aproximadamente 150cm²) de *Passi-*

flora suberosa durante todo seu estágio larval. Inicialmente as lagartas apresentam-se com tamanho de aproximadamente 0,5cm, podendo alcançar até 3,5cm de comprimento.

Os estágios larvais das espécies estudadas são facilmente distinguidas pelo padrão de coloração e através da quetotaxia da cápsula cefálica (Beebe et al., 1960).

2.2 Planta hospedeira

Nos testes experimentais foram utilizadas mudas de *P. edulis*. Essa espécie foi escolhida como dieta devido a dois fatores: primeiro porque é utilizada como recurso alimentar por *Heliconius* spp. em campo e em laboratório (observação pessoal); segundo porque é de fácil aquisição, uma vez que se trata de uma planta disseminada em todo o mundo (Waller & Gilbert, 1982).

Para se calcular a concentração do material particulado a ser oferecido à lagarta durante o experimento, foram necessários dados a respeito da fenologia da planta hospedeira. Para tanto foram adquiridas 500 mudas de *P. edulis* com aproximadamente 10cm de tamanho. Foi constatado que após o surgimento da região meristemática, que consiste da gema apical mais uma folha ainda fechada, aproximadamente em três dias a folha fechada expande-se dando origem à primeira folha. A segunda, terceira, quarta e quinta folhas surgem aproximadamente após 06, 09, 12 e 15 dias respectivamente. Nesse estágio a planta apresenta-se com aproximadamente 40cm de altura.

As folhas de *P. edulis* utilizadas foram colhidas diariamente da planta mãe, recortadas em formato de discos e oferecidas às lagartas. Devido à alta mortalidade das lagartas nos estágios iniciais, os testes foram realizados apenas com lagartas de 3, 4 e 5 estágios.

Tabela 1 - análise semi-quantitativa do materia particulado sedimentável coletado em Jardim Camburi, Serra, Es, Brasil.

elemento químico	porcentagem (%)
O	52,14
Ca	12,91
Fe	11,16
Si	9,82
Al	5,34
Mo	3,92
K	2,01
Ti	1,06
Cl	0,97
Cu	0,66
Total	100

Os dois primeiros estágios foram alimentados com dieta não contaminada. Para cada ínstar foi padronizada a quantidade de área foliar e a qualidade do alimento respectivamente: 34cm^2 da terceira folha para o terceiro estágio, 50cm^2 da quarta folha para o quarto estágio e 66cm^2 da quinta folha para o quinto estágio larval. Essa padronização somente foi possível mediante observações de laboratório.

2.3 Coleta e Pesagem da poeira

Neste trabalho foi utilizada a poeira urbano-industrial devido à facilidade de coletá-la em grandes quantidades. A coleta da poeira urbano-industrial deu-se em Jardim Camburi, um bairro com uma das maiores incidências de material particulado sedimentável da Grande Vitória (Silva, 2001), de maneira ativa com auxílio de uma escova de 20cm com cerdas flexíveis, em uma superfície de alvenaria.

O material foi submetido a uma análise semi-quantitativa realizada com microscópio eletrônico de varredura, com espectrômetro de energia dispersiva (marca Leica, modelo S440i). A partir dessa análise foi possível identificar os elementos mostrados na Tabela 1.

Foi testada apenas a dieta contaminada, através de 33 diferentes concentrações, entre 0.7 a 7.1mg/cm². Esse intervalo foi estipulado a partir das concentrações mensais em 1cm² encontradas no cinturão verde da CST (Mugrabi-Oliveira et al., prep).

Para reproduzir as mesmas concentrações de material particulado encontrado nas plantas do cinturão verde da CST, o cálculo das massas deu-se a partir da multiplicação da concentração diária da poeira, pela área foliar (34, 50 ou 66cm²) e pelo tempo em que as folhas ficariam expostas se estivessem no campo (09, 12 ou 15 dias). Uma vez pesado, em balança analítica sensível a um milionésimo de grama, o material foi acondicionado individualmente em envelopes de papel vegetal, com pequena porosidade.

2.4 Testes de laboratório

As lagartas de terceiro ínstar de *H. erato* e *H. ethilla* foram obtidas no laboratório de criação do Centro de Educação Ambiental (CEAM) da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. Os testes foram realizados entre os meses de julho a setembro de 2001. Foram testadas duas lagartas/concentração para cada uma das espécies estudadas (n=132). Os testes foram realizados em condições de laboratório, com temperatura média de 27,86°C; 72,51% de umidade e fotofase de 14horas, obtido através de iluminação artificial com lâmpadas frias no período do dia.

Os indivíduos foram mantidos isoladamente em potes plásticos contendo pequenas perfurações para garantir a ventilação no interior do mesmo.

A poeira era cuidadosamente distribuída nos discos de folha, com auxílio de um pincel fino, de modo que se tornava homogênea em toda a sua área foliar. A partir de então as lagartas eram posicionadas no centro do disco respectivo.

Diariamente o alimento era renovado e na mesma ocasião realizava-se a assepsia da criação. Eram removidos dos potes fezes, fragmentos de alimento não utilizados pela lagarta e partículas de poeira restantes do dia anterior. Após a limpeza e a substituição do alimento, eram registrados os dados de desenvolvimento dos indivíduos. Imediatamente após a formação da crisálida, os indivíduos eram pesados em balança analítica com três casas decimais medidas em gramas. O tamanho dos indivíduos adultos foi tomado a partir da medida das asas anteriores, a partir da distância da base da célula discal ao ápice da veia R5, com auxílio de um paquímetro.

2.5 Análise dos dados

Para a análise estatística utilizou-se o sistema estatístico R (Ihaka & Gentleman, 1996). Foram realizadas análises de regressão de sobrevivência para determinar o tempo de sobrevivência das lagartas, baseadas no modelo Weibull, estimado pela função:

$$e^{-\mu^{-\alpha} t^{\alpha}}$$

O tempo (t) é um parâmetro conhecido; o tempo médio para a morte (μ) é o parâmetro de média estimado e o alfa (α) é o parâmetro que indica a velocidade da mortalidade dos indivíduos. Para o cálculo do (μ) foram consideradas além da concentração de poeira, as covariáveis temperatura e peso, uma vez que ambas contribuem para o desenvolvimento dos indivíduos.

A sobrevivência dos indivíduos foi avaliada durante os estágios jovens de lagarta até crisálida. O experimento foi paralisado no momento da emergência da borboleta.

Para a obtenção da representação gráfica dos resultados foram fixados os valores das covariáveis temperatura e peso inicial da lagarta respectivamente: 25, 25°C e 11,21mg. Ambas as co-variáveis, temperatura e peso inicial da lagarta,

foram inseridas no modelo para separar o seus efeitos da variável concentração de poeira urbano-industrial.

Utilizou-se regressão linear com erros normais para a análise de peso da crisálida e tamanho dos indivíduos adultos (variável y), contra a concentração de material particulado sedimentável (variável x).

O material particulado que a lagarta ingeriu afetou negativamente o tempo de sobrevivência dos indivíduos. As lagartas que foram submetidas às altas concentrações de material particulado morreram mais rapidamente do que aquelas indivíduos que alimentaram-se nas baixas concentrações (Figura 1).

A concentração da poeira, a temperatura e o peso inicial da lagarta afetaram a sobrevivência dos indivíduos (Tabela 3). Não houve diferença na resposta dos indivíduos de *B. morio* e *H. vires*. Ambas as espécies reagiram de maneira semelhante ao alimento contaminado, como pode ser visto em Tabela 2.

A Figura 2 ilustra o tempo médio para a morte dos indivíduos jovens nas diferentes concentrações de material particulado (Tabela 4, 17).

Na crisálida uma alta mortalidade dos indivíduos submetidos a dieta alimentar contaminada com material particulado. A maioria dos indivíduos morreram ainda em fase de lagarta. Das 66 lagartas testadas somente 23 e 29 indivíduos de *B. morio* e *H. vires* respectivamente transformaram-se em crisálidas. O número de lagartas que emergiram diminuiu à medida que a concentração de material particulado aumentou na dieta ($F=43,79$; $p<0,0001$). A Figura 3 revela que a interação do peso das crisálidas de ambas espécies testadas diminuiu à medida que a concentração de material particulado aumentou na dieta ($F=2,7$; $p=0,07$).

Apenas 15,15% dos indivíduos testados de *B. morio* e 39,6% de *H. vires* transformaram-se em adultos. A emergência dos indivíduos adultos diminuiu à medida

3 Resultados

O material particulado que a lagarta ingere afeta negativamente o tempo de sobrevivência dos indivíduos. As lagartas que foram submetidas às altas concentrações de material morreram mais rapidamente do que aqueles indivíduos que alimentaram-se nas baixas concentrações **Figura 1**.

A concentração da poeira, a temperatura e o peso inicial da lagarta afetam a sobrevivência dos indivíduos **Tabela 2**. Não houve diferença na reposta dos indivíduos de *H.ethilla* e *H.erato*. Ambas as espécies reagem de maneira semelhante ao alimento contaminado, como pode ser verificado na **Tabela 2**.

A **Figura 2** ilustra o tempo médio para a morte dos indivíduos jovens nas diferentes concentrações de material particulado ($\alpha=1,17$).

Foi constatada uma alta mortalidade dos indivíduos submetidos à dieta alimentar contaminada com material particulado. A maioria dos indivíduos morreram ainda em fase de lagarta. Das 66 lagartas testadas somente 23 e 29 indivíduos de *H.erato* e *H.ethilla* respectivamente transformaram-se em crisálidas. O número de lagartas que emergiram diminuiu à medida que a concentração de material particulado aumenta na dieta ($F=43,79$; $p<0.000$). A **Figura 3** revela que a interação do peso das crisálidas de ambas espécies testadas diminuiu à medida que a concentração de material particulado aumenta na dieta ($F=5,7$; $p=0.02$).

Apenas 15,15% dos indivíduos jovens de *H.erato* e 39,40% de *H.ethilla* transformaram-se em adulto. A emergência dos indivíduos adultos diminuiu à medida

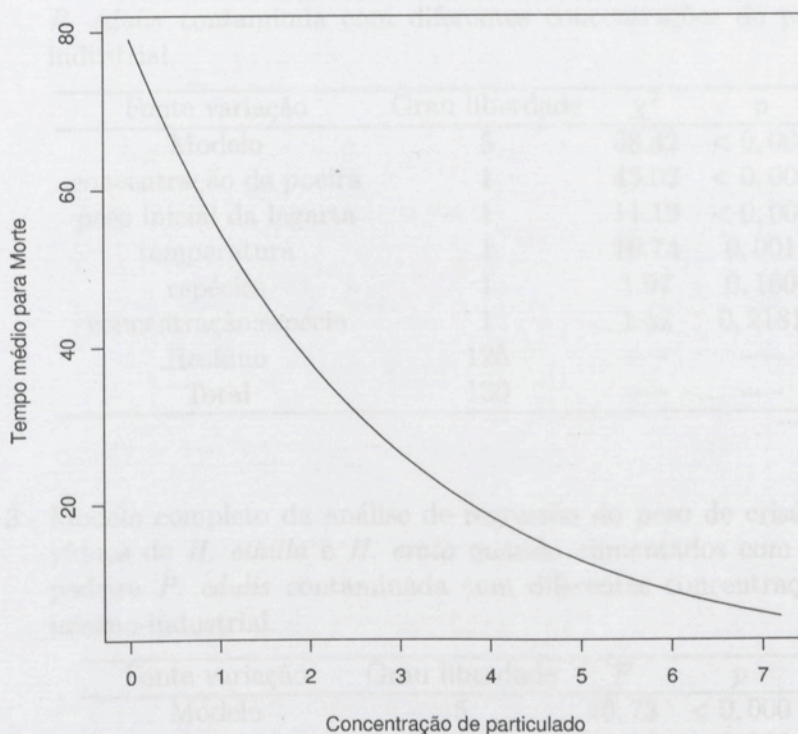


Figura 2 - Tempo médio de vida dos jovens (lagarta e crisálida) de *H. ethilla* e de *H. erato* alimentados com *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial, estimado pelo modelo Weibull.

Frequentemente as lagartas morreram durante a ecdise, apresentando visivelmente um tamanho reduzido, quando comparadas àquelas que receberam alimentação menos contaminada.

Tabela 2 - Modelo completo da análise de sobrevivência estimada pelo modelo de Weibull, onde os indivíduos jovens de *H. ethilla* foram alimentados com *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

Fonte variação	Grau liberdade	χ^2	<i>p</i>
Modelo	5	68.42	< 0,000
concentração de poeira	1	43.02	< 0,000
peso inicial da lagarta	1	11.19	< 0,000
temperatura	1	10.74	0,001
espécies	1	1.97	0,160
concentração:espécie	1	1.52	0,2181
Resíduo	125	---	---
Total	130	---	---

Tabela 3 - Modelo completo da análise de regressão do peso de crisálida dos indivíduos de *H. ethilla* e *H. erato* quando alimentados com a planta hospedeira *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

Fonte variação	Grau liberdade	<i>F</i>	<i>p</i>
Modelo	5	10,73	< 0,000
poeira (po)	1	44,02	< 0,000
peso inicial lagarta	1	0,13	= 0,72
temperatura	1	2,43	= 0,13
espécie (sp)	1	1,80	= 0,19
po*sp	1	5,25	= 0,03
Resíduo	44	---	---
Total	49	---	---

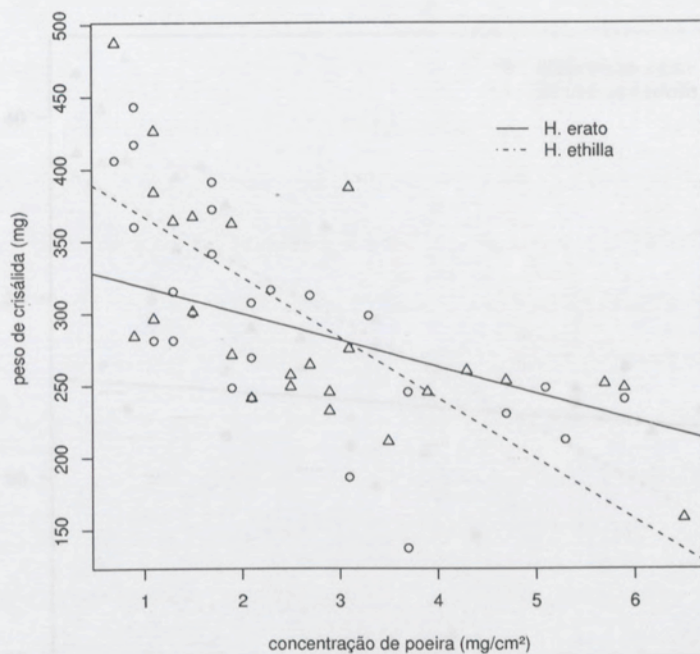


Figura 3 - Peso de crisálida dos indivíduos de *H. ethilla* e *H. erato* quando alimentados com a planta hospedeira *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

Tabela 4 - Análise do modelo completo do tamanho dos indivíduos adultos de *H. ethilla* e *H. erato* quando alimentados com a planta hospedeira *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

Fonte variação	Grau liberdade	F	p
Modelo	7	5,90	< 0,000
poeira (po)	1	25,44	< 0,000
peso inicial lagarta	1	0,001	= 0,97
temperatura	1	0,03	= 0,87
espécie (sp)	1	6,12	= 0,02
sexo (sx)	1	0,15	= 0,70
po*sp	1	7,01	= 0,01
po*sx	1	2,60	= 0,12
Resíduo	28	---	---
Total	35	---	---

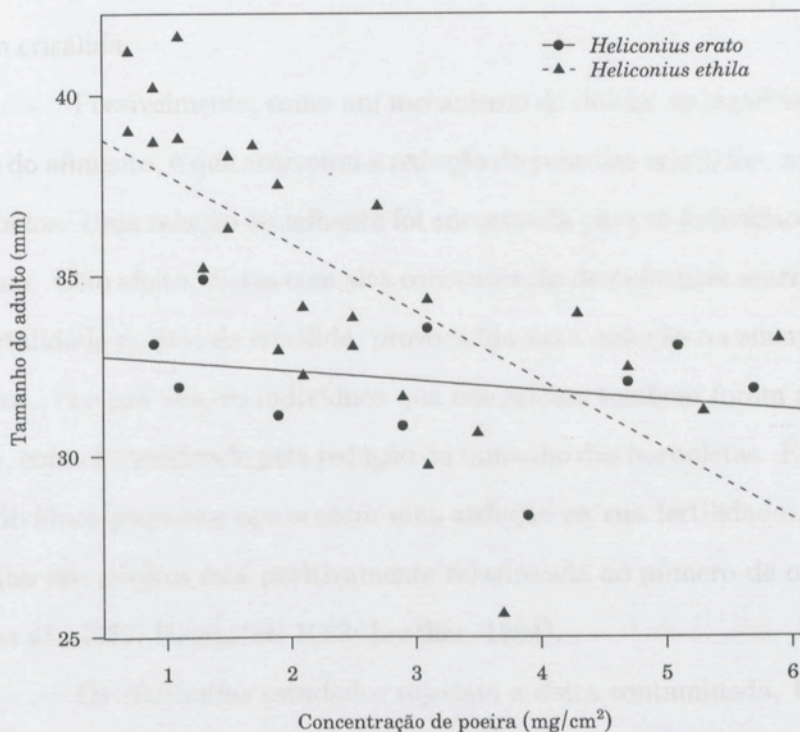


Figura 4 - Tamanho dos indivíduos adultos de *H. ethilla* e *H. erato* quando alimentados com a planta hospedeira *P. edulis* contaminada com diferentes concentrações de poeira urbano-industrial.

4 Discussão

Dentre os 14 metais descritos por Depledge et al. (1998) como altamente prejudiciais ao meio ambiente, quatro deles foram detectados na poeira urbano-industrial utilizadas na dieta dos organismos testados: Al, Ti, Fe e Cu.

Os nossos resultados confirmam a hipótese de que tanto *H. ethilla* quanto *H. erato* sobrevivem por menos tempo quando submetidas a altas concentrações de poeira urbano-industrial. O alimento contaminado pode ter ocasionado a morte dos indivíduos devido a mecanismos distintos: interrupção da ingestão do

alimento, devido ao desgaste das mandíbulas, por exemplo. Ou devido à ação física dos metais, agindo no trato intestinal e/ou devido à sua atuação química, sobre a lagarta e crisálida.

Possivelmente, como um mecanismo de defesa, as lagartas reduziram a ingestão do alimento, o que acarretou a redução do peso das crisálidas, como mostram os resultados. Uma relação semelhante foi encontrada para os indivíduos adultos que emergiram. Com efeito, dietas com alta concentração de poluentes acarretou em uma alta mortalidade na fase de crisálida, provocando uma redução na emergência desses indivíduos. Por sua vez, os indivíduos que emergiram também foram afetados pela poluição, como foi verificado pela redução do tamanho das borboletas. É provável que esses indivíduos pequenos apresentem uma redução na sua fertilidade, uma vez que o tamanho dos adultos está positivamente relacionada ao número de ovos (Dunlap-Pianka et al., 1977; Dempster, 1983; Leather, 1994).

Os *Heliconius* estudados rejeitam a deita contaminada. Outros herbívoros, ao detectar os metabólitos secundários das plantas logo após ou mesmo antes de serem consumidos, também apresentam uma instantânea cessação da alimentação. Já para alguns herbívoros a falta de alimento adequado os tornam menos seletivos, podendo ingerir dietas subótimas (Slansky, 1993; Bernays & Chapman, 1994).

Embora alguns grupos de invertebrados sejam reconhecidos por acumularem metais pesados, há muitos insetos que são fisiologicamente capazes de regular a concentração dos poluentes quando em baixas quantidades (Hopkin, 1995). Diversas lagartas de lepidópteros podem tolerar a ingestão de vários componentes potencialmente tóxicos, tanto devido à sua insensibilidade, quanto à sua capacidade de detoxicar, excretar ou neutralizar os componentes químicos (Scriber, 1984; Bernays & Chapman, 1994; Appel, 1994). O lepidóptero minador *Eriocrania semipurpurella* é capaz de excretar 90-95% do níquel e 50-80% do cobre consumido, demonstrando uma

alta capacidade de resistir à contaminação ambiental por metais pesados (Kozlov et al., 2000). Segundo Bernays & Weiss (1996), a capacidade de detoxicar compostos xenobióticos (substâncias estranhas) através da indução da produção enzimática, é comum dentre os lepidópteros.

Alguns *Heliconius* possuem mecanismos fisiológicos capazes de detoxicar as substâncias secundárias produzidas naturalmente pelas plantas hospedeiras, tais como o grupo de alcalóides, taninos e compostos cianogênicos (Smiley & Wisdom, 1985). Entretanto, nossos resultados indicam que nem *H. ethila*, nem *H. erato*, foram capazes de desempenhar tais mecanismos de tolerância ao efeito da poeira testada.

Nossos dados dão indícios de que essas borboletas podem reduzir suas populações em campo, uma vez que elas morrem ainda na fase de lagartas, e, que poucos conseguem atingir a idade adulta, quando submetidos às altas concentrações de poeira urbano-industrial.

A reduzida sobrevivência dos indivíduos identificada nesse estudo permite-nos inferir que as populações de *Heliconius* spp. em campo, podem ser reduzidas devido à incidência da poeira industrial, atuando indiretamente sobre a qualidade do alimento ingerido pelas lagartas. As populações de campo, além da deposição do particulado sobre a planta, podem também estar submetidas ao efeito do estresse da planta, provocado pela assimilação de metais do ambiente. De fato, plantas estressadas são reconhecidas por alterarem suas defesas químicas e consequentemente modificar o metabolismo de seus herbívoros, podendo inclusive provocar alterações nas suas densidades populacionais (Waring & Cobb, 1992; Zvereva et al., 1995; Rhoades, 1983).

Em nosso estudo a respeito do efeito da poeira urbano-industrial na escolha da planta hospedeira (Mugrabi-Oliveira & DeSouza, prep), através de testes

de laboratório, verificamos que fêmeas de *H. ethilla* preferem colocar seus ovos em plantas com menos poeira, indicando que a escolha da planta hospedeira é afetada negativamente pela poeira urbano-industrial depositada sobre as folhas.

O efeito da dieta contaminada afeta de maneira mais evidente tanto o peso da crisálida quanto o tamanho dos indivíduos adultos de *H. ethilla*, indicando que essa espécie é mais sensível à ação da poeira urbano-industrial quando comparada com *H. erato*, sendo possivelmente um melhor indicador da qualidade das condições ambientais atmosférica.

Apesar de termos fortes indícios de que a poeira esteja acarretando uma redução na densidade populacional de *Heliconius* spp., devemos ressaltar que outros fatores como condições climáticas, relação inimigo natural-herbívoro e doenças, são importantes e podem também promover a mortalidade de herbívoros (Cornell & Hawkins, 1995). Tais mecanismos de redução de densidade populacional merecem futuras investigações em áreas impactadas pela poluição atmosférica.

5 Agradecimentos Bibliográficas

Os nossos agradecimentos são para Ronaldo Reis Jr. pela contribuição na análise estatística e formatação final do artigo. À Nícia Marchesi e Francisco Barreto pelo auxílio nos experimentos laboratoriais. Ao Rafael Del'Lerda e Raul Guedes pelo fornecimento de importantes referências bibliográficas. À Edivanda Mugrabi pela correção dos manuscritos. E à CST pela concessão de bolsa de estudo e por todo o apoio logístico oferecido durante a execução deste trabalho.

Appel, M. (1994). The chewing by crassid larvae: a review of physicochemical conditions and their impact on plant resistance, insect development, and insect pathology. In E. A. Bernays (Ed.), *Insect plant interactions*, volume V (pp. 240). CRC Press Boca Raton.

Beebe, W., Crane, J. & Flaming, H. (1935). A comparison of eggs, larvae and pupae in fourteen species of heliconiine butterflies from Trinidad, w.I.I.2. *Zoologica*, 25, 111-154.

Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (1984). *Host plant selection by phytophagous insects*, chapter Behavior: the process of host-plant selection. (pp. 312). Chapman & Hall, New York.

Bernays, E. A. & Weber, M. R. (1996). Individual food preferences in caterpillars: the need to identify mechanisms. *Biol. Exp. Appl.*, 78, 1-3.

6 Referências Bibliográficas

- ABNT (1991). *Atmosfera. Determinação da taxa de poeira sedimentável total*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Alexander, A. (1961). A study of the biology and behavior of the caterpillars, pupae and emerging butterflies of the Subfamily Heliconiinae in Trinidad, West Indies. Part I. some aspects of larval behavior. *Zoologica*, 46, 1-24.
- Appel, M. (1994). The chewing herbivore gut lumen: physicochemical conditions and their impact on plant nutrients, allelochemicals, and insect pathogens. In E. A. Bernays (Ed.), *Insect-plant Interactions*, volume V (pp. 240). CRC Press Boca Raton.
- Beebe, W., Crane, J., & Fleming, H. (1960). A comparison of eggs, larvae and pupae in fourteen species of heliconiine butterflies from trinidad, w.I.1,2. *Zoologica*, 25, 111-154.
- Bernays, E. A. & Chapman, R. F. (1994). *Host plant selection by phytophagous insects*, chapter Behavior: the process of host-plant selection., (pp. 312). Chapman & Hall. New York.
- Bernays, E. A. & Weiss, M. R. (1996). Induced food preferences in caterpillars: the need to indentify mechanisms. *Ent. Exp. App.*, 78, 1-8.

- Brown, K. S. (1981). The biology of *Heliconius* and related genera. *Ann. Rev. Entomol.*, 26, 427-455.
- Cornell, H. & Hawkins, B. (1995). Survival patterns and mortality sources of herbivorous insects. some demographic-trends. *Am. Nat.*, 563-593.
- Dempster, J. (1983). The natural control of populations of butterflies and moths. *Biol. Rev.*, 58, 461-481.
- Depledge, M., Weeks, J., & Bjerregaard, P. (1998). Heavy metals. In P. Calow (Ed.), *Handbook of ecotoxicology* chapter 5, (pp. 543-569). Blackwell Science.
- Dohmen, G., McNeil, S., & J.N.Bell. (1984). Air pollution increases *Aphis fabae* pest potential. *Nature*, 52-53.
- Dunlap-Pianka, H., Boggs, C., & Gilbert, L. (1977). Ovarian dynamics in Heliconiine Butterflies - programmed zenescence versus eternal youth. *Science*, 197(4302), 487 - 490.
- Fenger, J. (1999). Urban air quality. *atmosferic Environment*, 33, 4877-4900.
- Hopkin, S. (1995). Deficiency and excess of essential and non-essential metals in terrestrial insects. *Symposia of Royal Entomological Society of London*, 17, 251-270.
- Ihaka, R. & Gentleman, R. (1996). R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299-314.
- Koricheva, J. & Haukioja, E. (1995). Variations in chemical composition of birch foliage under air pollution stress and their consequences for *Eriocrania* miners. 88, 41-50.
- Koricheva, J., Larsson, S., & Haukioja, E. (1998). Insect performance on experimentally stressed woody plants: A meta-analysis. *Annu Rev Entomol*, 43, 195-216.

Kozlov, M., Haukioja, E., & Kovnatsky, E. (2000). Uptake and excretion of nickel and copper by leaf-mining larvae of *Eriocrania semipurpurella* (Lepidoptera: Eriocraniidae) feeding on contaminated birch foliage. *Environmental Pollution*, 108, 303–310.

Leather, S. (1994). Life history traits of insect herbivores in relation to host quality. In E. Bernays (Ed.), *Insect-Plant Interactions*, volume 5 chapter 6, (pp. 175–207). CRC Press Boca Raton.

Mankovska, B. & Steinnes, E. (1995). Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 163, 11–23.

Mugrabi-Oliveira, E. & DeSouza, O. (prep). O efeito da poeira atmosférica sedimentável na escolha da planta hospedeira realizada por *Heliconius ethilla* (Lep. heliconiinae).

Mugrabi-Oliveira, E., DeSouza, O., & Reis Jr., R. (prep). Determinantes da população de *Heliconius* spp. (Lep. heliconiinae) em um complexo siderúrgico: efeito dos recursos alimentares e da poeira atmosférica sedimentável industrial.

Phillips, D. (1998). Bioaccumulation. In P. Calow (Ed.), *Handbook of ecotoxicology* chapter 19, (pp. 378–396). Blackwell Science.

Rhoades, D. (1983). Herbivore population dynamics and plant chemistry. In *Variable plants and herbivores on natural and managed systems* chapter 6. ???

Rodrigues, D. & Moreira, G. (1999). Feeding preference of *Heliconius erato* (Lep.: Nymphalidae) in relation to leaf age and consequences for larval performance. *Journal of the Lepidopterists Society*, 53(3), 108–113.

- Ruohomaki, K., Kaitaniemi, P., Kozlov, M., Tammaru, T., & Haukioja, E. (1996). Density and performance of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) along three air pollution gradients in Northern Europe. *Journal of Applied Ecology*, 33, 773–785.
- Scriber, J. (1984). Host plant suitability. In W. Bell & R. Cardé (Eds.), *Chemical ecology of insects* (pp. 159–200). Chapman and Hall.
- Silva, A. (2001). *Relatório anual de qualidade do ar 2000-2001*. Governo do Estado do Espírito Santo. Secretaria de Estado para Assuntos do Meio Ambiente-SEAMA.
- Slansky, F. (1993). Nutritional ecology: the fundamental quest for nutrients. In N. Stamp & T. Casey (Eds.), *Caterpillars: ecological and evolutionary constraint on foraging* (pp. 29–91). Chapman and Hall, New York.
- Smiley, J. (1995). *Heliconius* caterpillar mortality during establishment on plants with and without attending ants. *Ecology*, 66, 845–849.
- Smiley, J. & Wisdom, C. S. (1985). Determinants of growth rate on chemically heterogeneous host plants by specialist insects. *Biochem. Syst. Ecol.*, 13, 305–312.
- Walker, C. H., Hopkin, S. P., Sibly, R. M., & Peakall, D. B. (1997). *Principles of ecotoxicology*. Taylor and Francis.
- Waller, D. & Gilbert, L. (1982). Roost recruitment and resource utilization: observations on a *Heliconius charitonia* L. roost in Mexico (Nymphalidae). *J. Lepid. Soc.*, 178–184.
- Waring, G. L. & Cobb, N. S. (1992). The impact of plant stress on herbivore population dynamics. In E. Bernays (Ed.), *Insect-plant interactions*, volume 4 chapter 4, (pp. 167–226). CRC Press Boca Raton, FL.

Zvereva, E. & Kozlov, M. (1995). Effects of air pollution on natural enemies of the leaf beetle *Melasoma lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Applied Ecology*, 37, 298–308.

Zvereva, E., Kozlov, M., & Neuvonen, S. (1995). Population density and performance of *Melasoma lapponica* (coleoptera: Chrysomelidae) in surroundings of melter complex. *Environ. Entomol.*, 24(3), 707–715.