

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CAMPUS SOROCABA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DIVERSIDADE BIOLÓGICA E CONSERVAÇÃO



Dissertação de Mestrado

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E  
CONSERVAÇÃO

RAPHAEL MACHADO SANTOS

**VAGA-LUMES BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO LUMINOSA E RIQUEZA DE  
ESPÉCIES EM ÁREAS NATURAIS DA SERRA DE PARANAPIACABA E EM  
ÁREAS URBANIZADAS**

Sorocaba

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E  
CONSERVAÇÃO

RAPHAEL MACHADO SANTOS

**VAGA-LUMES BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO LUMINOSA E RIQUEZA DE  
ESPÉCIES EM ÁREAS NATURAIS DA SERRA DE PARANAPIACABA E EM  
ÁREAS URBANIZADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação para obtenção do título de mestre em Diversidade Biológica e Conservação.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Nivert Schindwein e Prof. Dr. Vadim Viviani

Sorocaba

2013

Santos, Raphael Machado.  
S237v Vaga-lumes bioindicadores de poluição luminosa e riqueza de espécies em áreas naturais da Serra de Paranapiacaba e em áreas urbanizadas / Raphael Machado Santos. -- 2013.  
111 f. : 28 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos,  
*Campus* Sorocaba, Sorocaba, 2013  
Orientador: Marcelo Nivert Schlindwein  
Banca examinadora: Vadim Viviani, Pedro José Ferreira Filho,  
Simone Policena Rosa  
Bibliografia

1. Coleoptera. 2. Indicadores biológicos. 3. Paranapiacaba (SP). I.  
Título. II. Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos.

CDD 595.76

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do *Campus* de Sorocaba.

**RAPHAEL MACHADO SANTOS**

**VAGA-LUMES (COLEOPTERA: LAMPYRIDAE,  
ELATERIDAE, PHENGODIDAE): BIOINDICADOR DE  
POLUIÇÃO LUMINOSA E RIQUEZA DE ESPÉCIES EM  
ÁREAS NATURAIS DA SERRA DE PARANAPIACABA E EM  
ÁREAS URBANIZADAS.**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de  
mestre em Diversidade Biológica e Conservação.  
Universidade Federal de São Carlos.  
Sorocaba, 12 de dezembro de 2013.**

**Orientador:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Marcelo Nivert Schlindwein**  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*

**Co-orientador:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Vadim Viviani**  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*

**Examinadores:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Pedro José Ferreira Filho**  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Simone Policena Rosa**  
Universidade de São Paulo - USP

*A meus pais, pelo apoio nas minhas escolhas,*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço antecipadamente a todos que participaram direta ou indiretamente na realização do presente trabalho.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Vadim Viviani e Prof. Dr. Marcelo Nivert Schlindwein, pelo conhecimento compartilhado na orientação do projeto, por incentivar a busca de respostas ainda que as perguntas parecessem desafiadoras, por ensinar que desistir não é uma opção, agradeço a eles pelas oportunidades oferecidas, pelo tempo dedicado, pela parceria nesses anos, pela amizade e pela paciência;

- à Dra. Simone Policena Rosa por confirmar as espécies identificadas corretamente e por orientar na busca de informações;

- à Profa. Dra. Cleide Costa e Profa. Dra. Sonia Casari por permitir o acesso ao material do MZUSP;

- ao Prof. Dr. Miguel Petrelli Jr. pelo incentivo e pela sugestão de um método de amostragem que foi empregado na realização de parte decisiva para se responder à pergunta do trabalho;

- ao Prof. Dr. Maurício Cetra pela orientação na análise estatística no R, por colocar o seu laboratório à disposição e por mostrar, na prática, como se trabalha um ecólogo/biólogo para buscar respostas para sua(s) pergunta(s);

- ao Prof. Dr. Pedro Ferreira Filho pelas sugestões para a melhoria da apresentação dos resultados e pela apresentação de outros métodos que podem ser úteis em trabalhos futuros;

- ao MSc. Tiago Pedroso de Almeida pela parceria e pela ajuda com a geração de gráficos e análise deles no OriginPro8©;

- ao MSc. Oskar Hagen pela parceria nesses anos, pelo incentivo e sugestões na continuidade do projeto;

- à estudante de mestrado Gabriele Verônica Gabriel pela orientação no uso do espectrofluorímetro e na padronização dos gráficos dos espectros de bioluminescência;

- ao meu pai, Sr. Valdemir A. Santos, pela revisão das versões do projeto, dos relatórios e da dissertação, no sentido de melhoria no texto para o melhor entendimento do leitor, e ainda por todo o apoio;

- ao Prof. Dr. Alexander Vicente Cristianini pelas sugestões no projeto e pelo apoio durante o curso;

- aos estudantes Pedro R. Busana e Deimison R. Neves pelo auxílio nas coletas para o levantamento das espécies no Parque Estadual Intervales;

- ao Édipo F. V. da Silva pelo auxílio no levantamento de espécies no Parque Estadual Carlos Botelho;

- ao estudante de doutorado Sr. Danilo Trabuco Amaral e à Dra. Rogilene Alves Prado pela parceria nas saídas a campo no Estado e nas expedições pelo Brasil para o levantamento das espécies de coleópteros biolumnescentes;

- ao estudante Henrique Tavares pelo interesse no estudo sobre a biologia de espécies de vaga-lumes e por acatar as recomendações com muito entusiasmo;

- à Luciana Missae Kawamura, secretária do Programa de Pós Graduação em Diversidade Biológica e Conservação (PPGDBC), que sempre demonstrou competência, contribuindo para o bom desempenho das atividades e dos projetos;

- à Profa. Dra. Eliana Akie Simabukuro, que enquanto coordenadora do PPGDBC, foi bem-sucedida na tentativa de conseguir uma bolsa junto à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), para o desenvolvimento deste projeto;

- aos professores do PPGDBC, que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho e decisivamente na minha formação;

Agradeço à sociedade que, por meio de contribuições, permite às agências de fomento do Governo Estadual e Federal a concessão de bolsas para o desenvolvimento técnico-científico em nosso Estado e em nosso país. Dessa forma, agradeço:

- à CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado (na modalidade Demanda Social), pelo Programa da Pós, no período de sete meses e;

- à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de mestrado por 17 meses (Processo 2011/16653-8), tão útil para a manutenção de minha permanência na cidade de Sorocaba durante o período do curso de Pós-Graduação e no período de desenvolvimento do projeto nos anos de 2012 e 2013.

Sou grato ao PPGDBC e à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pelo apoio e pela oportunidade de continuidade de estudo.



## RESUMO

Coleópteros bioluminescentes são conhecidos pela sua ampla distribuição no mundo, porém a composição da fauna desses organismos ainda é desconhecida para a maior parte das áreas onde eles ocorrem. O Brasil é o país com o maior número de espécies de insetos bioluminescentes catalogadas, porém estudos de levantamentos faunísticos, que possibilitam observar a composição das assembleias desses organismos, com o objetivo de monitoramento de impactos em áreas naturais só tem sido realizados recentemente. O presente trabalho foca a iluminação artificial noturna como um possível impacto nas assembleias de coleópteros bioluminescentes. Para o conhecimento da fauna de coleópteros no Estado de São Paulo, foram realizadas séries de levantamentos por meio da coleta em três locais de Mata Atlântica na Serra de Paranapiacaba. As espécies encontradas foram: *Aspisoma lineatum*, *Aspisoma physionotum*, *Aspisoma* sp. (não foi identificada), *Cratomorphus beskei*, *Cratomorphus giganteus*, *Photinoides penai*, *Photinus* sp1, *Photinus* sp9, *Ethra* aff. *malleidicta* ou *axilaris*, *Ethra* aff. *adicta*, *Cladodes demoulini*, *Cladodes flabelicornis*, *Amydetes* SP (ainda não foi identificad), *Bicellonycha* sp. (ainda não foi identificada), *Bicellonycha* sp8, *Pyrogaster lunifer*, *Pyrogaster moestus*, *Pyrogaster* sp3 ref. (PORTO, 2011), *Photuris elliptica*, *Photuris* sp1, *Photuris* sp7 *Stenophrixotrix* sp1, *Brasilocerus* sp1, *Phrixotrix hirtus*, *Pseudophengodes* sp1, *Hapsodrilus pyrotis*, *Pyroptesis cincticollis*, *Ptesiomopsia luculenta*, *Pyrearinus candelarius*, *Pyrearinus micatus* e *Pyrophorus divergens*. A área de investigada na SA de Paranapiacaba apresenta a segunda maior diversidade de insetos bioluminescentes do Estado de São Paulo até o momento. A partir da análise de agrupamento que foi realizada com os dados obtidos em campo e dados da literatura, é possível deduzir uma relação de dependência entre espécies e área em que elas podem ocorrer, quando categorizamos as áreas como mais e menos urbanizadas. Como tem sido observada uma menor riqueza de besouros bioluminescentes em áreas mais urbanizadas neste e em outros trabalhos, elegemos uma espécie para investigar os possíveis efeitos da iluminação artificial. Para o estudo utilizamos o método de contagem em *grid* em duas áreas semelhantes, onde apenas uma era iluminada; com a análise dos dados obtidos, por meio de um teste não-paramétrico robusto realizado com aleatorizações dos dados, foi possível comparar os dados obtidos com aqueles gerados ao acaso, e com isso verificamos que as populações amostrais não apresentaram número de ocorrências diferentes, sendo o valor de p encontrado, não significativo ( $t=1,780787$ ,  $R=5000$ ,  $P=0,059988$ ). Dessa maneira, concluímos *Bicellonycha lividipennis* não é sensível à luz de sódio. Portanto, não é uma espécie boa para ser indicadora de poluição luminosa para esse tipo de fonte. Os espectros de bioluminescência e da luz de sódio foram confrontados e, uma possível explicação para que *B. lividipennis* não seja sensível à luz de sódio é que o início da atividade da espécie ocorre quando ainda há forte iluminação do crepúsculo.

Palavras-chave: Vaga-lumes. Bioindicadores. Paranapiacaba.

## ABSTRACT

Bioluminescent beetles are common for their wide distribution in the world, but the composition of the fauna of these organisms is still unknown to most of the areas where they occur. Brazil is the country with the largest number of cataloged species of bioluminescent insects, but studies of faunal surveys, which allow observing the composition of the assemblies of these insects, with the aim of monitoring impacts in natural areas has only recently been realized. The present study focuses on the artificial night lighting as a possible impact on assemblies of bioluminescent beetles. To the knowledge of the fauna of luminous beetles in the State of São Paulo, surveys were conducted by sampling at three sites of the Atlantic Forest in the SA of Paranapiacaba. The species found were: *Aspisoma lineatum*, *Aspisoma physionotum*, *Aspisoma* sp., *Cratomorphus beskei*, *Cratomorphus giganteus*, *Photinoides penai*, *Photinus* sp<sub>1</sub>, *Photinus* sp<sub>9</sub>, *Ethra* aff. *maledicta* ou *axilaris*, *Ethra* aff. *adicta*, *Cladodes demoulini*, *Cladodes flabelicornis*, *Amydetes* sp., *Bicellonycha* sp., *Bicellonycha* sp<sub>8</sub>, *Pyrogaster lunifer*, *Pyrogaster moestus*, *Pyrogaster* sp<sub>3</sub> ref. (PORTO, 2011), *Photuris elliptica*, *Photuris* sp<sub>1</sub>, *Photuris* sp<sub>7</sub>, *Stenophrixotrix* sp<sub>1</sub>, *Brasilocerus* sp<sub>1</sub>, *Phrixotrix hirtus*, *Pseudophengodes* sp<sub>1</sub>, *Hapsodrilus pyrotis*, *Pyroptesis cincticollis*, *Ptesiomopsia luculenta*, *Pyrearinus candelarius*, *Pyrearinus micatus* e *Pyrophorus divergens*. The investigated area in SA Paranapiacaba has the second highest species richness of bioluminescent insects of the state of São Paulo until now. From the cluster analysis was done with the data obtained in the field and published data to categorize areas as more and less urbanized was possible to deduce a dependence relationship between species and area in which they can occur. Like other studies, lower richness of bioluminescent beetles in more urbanized areas was observed, we chose a species to investigate the possible effects of artificial lighting. For the study we used the method of counting grid in two similar areas, where only one had artificial lighting. Was possible to compare the data obtained from the two sites with randomization of the same data through a robust non-parametric test, thereby we verified that the sample populations showed no number of different occurrences, the p value is not significant ( $t=1,780787$ ,  $R=5000$ ,  $P=0,059988$ ). We conclude that *Bicellonycha lividipennis* is not sensitive to lighth of sodium vapor lamps. So this species is not a good indicator species to light pollution for this type of light source. The bioluminescence spectra and the sodium light were superimposed; a possible explanation for that *B. lividipennis* is not sensitive to light sodium is the activity of the species which is relatively early when there is still strong lighting of twilight.

Keywords: Fireflies. Bioindicators. Paranapiacaba.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. Esquema geral da evolução do sinal sexual em lampirídeos. Fonte: Adaptado do exposto por Lewis (2009). .....   | 21 |
| FIGURA 2. Principais tipos de vegetação nas áreas de estudo. (a) Floresta Atlântica Montana no Parque Estadual Carlos Botelho, (b) Floresta pluvial no Parque Carlos Botelho, 2010. Vista de uma área brejosa de mata ripária no Rio Taquaral 2011; (c) Campo aberto e áreas de borda, 2011. Fonte: Arquivo pessoal.....                                   | 27 |
| FIGURA 3. Municípios em que foram realizadas coletas e observações conforme estabelecido no projeto. Fonte: Elaborado pelo autor a partir da Base digital i3Geo MMA e Ministério das Cidades.....  | 29 |
| FIGURA 4. Mapa do Campus da UFSCar Sorocaba, evidenciando os transectos a diferentes distâncias das fontes luminosas mais próximas, onde 0, 1 e 2 correspondem aos transectos. Fonte: SANTOS (2011). .....   | 30 |
| FIGURA 5. Imagem de satélite das áreas do <i>Campus</i> da UFSCar Sorocaba e do Ecorresidencial Jequitibá. As regiões das áreas onde foram realizadas as observações da atividade bioluminescente são destacadas pelos pontos. Fonte: Google Earth (2013). .....   | 31 |
| FIGURA 6. Imagem de satélite do local onde foram realizadas observações de atividade bioluminescente na cidade de Sorocaba. Fonte: Google Earth (2013). .....  | 32 |
| FIGURA 7. Imagem de satélite da área de estudo em Votorantim-SP. Fonte: Google Earth (2013). .....   | 33 |
| FIGURA 8. Imagem de satélite do local onde está localizado um ponto onde foram realizadas algumas observações no Jd. Clarice II/Pq. Santos Dummont. Fonte: Google Earth (2013). .....  | 34 |
| FIGURA 9. Imagem de Satélite indicando a área onde foi realizada observação e coleta na FLONA Ipanema em Iperó-SP. Fonte: Google Earth (2013). .....   | 35 |
| FIGURA 10. Imagem de satélite da área das observações na Fazenda Santana, em Sousas-SP. Fonte: Google Earth (2013). .....  | 36 |
| FIGURA 11. Luxímetros utilizados com os seus respectivos sensores demonstrados na mão de um operador. (A) Skye SKL 300, com sensor SKL 310; (B) Medidor ambiental da Instrutherm no modo luxímetro com o respectivo sensor. ....   | 40 |
| FIGURA 12. Espectrômetro portátil em operação: na mão do operador o sensor; na tela de um computador o programa de operação do equipamento registra o espectro da iluminação em tempo real. ....   | 41 |
| FIGURA 13. Panorâmicas das áreas de estudo onde foram aplicado o método de estimativa descrito (área de ocorrência de <i>Bicellonycha lividipennis</i> ), mostrando a localização dos cinturões de taboas. (A) área não iluminada; (B) área iluminada, evidenciando a localização das lâmpadas de sódio, que são as fontes de luz direta sobre a área..... | 47 |
| FIGURA 14. Croqui das áreas de estudo onde foi aplicado o método de estimativa descrito evidenciando a localização dos transectos perpendicularmente à linha de 100 metros que é paralela ao limite da zona ocupada por taboas, que é mostrada aqui como a área hachurada.(A) área não iluminada; (B) área iluminada. ....                                 | 48 |
| FIGURA 15. Lampyridae (Cratomophini e Photinini) da SA de Paranapiacaba. a) <i>Cratomorphus giganteus</i> ; b) <i>Cratomorphus besckei</i> ; c) <i>Aspisoma lineatum</i> ; d) polimórficos de <i>Aspisoma physionotum</i> ; e) <i>Aspisoma</i> sp2; f) <i>Photinus</i> sp1; g) <i>Photinus</i> sp9; h) <i>Photinoides penai</i> . ....                     | 53 |
| FIGURA 16. Lampyridae (Amydetini) da SA de Paranapiacaba. a) <i>Aethra</i> aff. <i>malledicta</i> ou <i>axilaris</i> ; b) <i>Amydetes</i> sp; c) <i>Cladodes flabellicornis</i> ; d) <i>Cladodes demoulini</i> . ....  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 17. Lampyridae (Photurinae) da SA de Paranapiacaba. a) <i>Bicellonycha</i> sp <sub>8</sub> ; b) <i>Pyrogaster moestus</i> ; c) <i>Pyrogaster lunifer</i> ; d) <i>Pyrogaster</i> sp <sub>3</sub> (ref. Diego S. Porto); e) <i>Photuris lugubris</i> ; f) <i>Photuris</i> sp <sub>7</sub> . .....  | 55 |
| FIGURA 18. Elateridae (Pyrophorini) da SA de Paranapiacaba. a) <i>Pyrophorus divergens</i> ; b) <i>Ptesimopsia luculenta</i> ; c) <i>Ptesimopsia cincticollis</i> ; d) <i>Pyrearinus candelarius</i> ; e) <i>Pyrearinus micatus</i> ; f) <i>Pyrearinus brevicollis</i> ; g) <i>Hapsodrilus pyrotis</i> . .....  | 56 |
| FIGURA 19. Número de espécies de Lampyridae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba. ....   | 58 |
| FIGURA 20. Número de espécies de Elateridae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba. ....   | 60 |
| FIGURA 21. Número de espécies de Phengodidae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba. ....  | 62 |
| FIGURA 22. Análise de agrupamento pareado pela medida de Similaridade de Jaccard (coeficiente binário) mostrando relação entre as comunidades pela presença e ausência de espécies presente trabalho e nas comunidades amostradas por VIVIANI ET AL. (2010) e VIVIANI; SANTOS (2012). ....  | 64 |
| FIGURA 23. Frequência de <i>Bicellonycha lividipennis</i> no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie: início/fim = 1; poucas/algumas = 5; muitos/vários = 10. ....   | 70 |
| FIGURA 24. Soma das frequências de <i>Bicellonycha lividipennis</i> por categoria de tempo de observação em intervalos de 10 minutos. Nota: Os dados que foram somados para gerar as frequências são somente o número de indivíduos que pertencem ao respectivo tempo que é indicado no eixo x. Dado presente em intervalo não foi considerado, pois é observação suplementar à contagem de indivíduos a cada 10 minutos. ....  | 71 |
| FIGURA 25. Frequência de <i>Bicellonycha ornatocollis</i> no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. ....  | 72 |
| FIGURA 26. Frequência de <i>Pyrogaster moestus</i> no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol. ....   | 73 |
| FIGURA 27. Frequência de <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub> no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: início = 1; poucos/algumas = 3; redução = 5; muitos/vários/>10/pico = 10. .... | 74 |
| FIGURA 28. Soma das frequências de <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub> por categoria de tempo de observação em intervalos de 10 minutos. Nota: Os dados que foram somados para gerar as frequências são somente o número de indivíduos que pertencem ao respectivo tempo que é indicado no eixo x, dado presente em intervalo não foi considerado, pois é observação suplementar à contagem de indivíduos a cada 10 minutos. ....   | 75 |
| FIGURA 29. Frequência de <i>Aspisoma lineatum</i> no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. ....  | 76 |
| FIGURA 30. Frequência de <i>Aspisoma physonotum</i> no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção  |    |

|   |    |
|---|----|
| gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: alguns = 2. ....   | 77 |
| Figura 31. Frequência de <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub> no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: início = 1; poucos = 2; muitos = 5. .... | 78 |
| FIGURA 32. Ocorrência de coleópteros bioluminescentes e intensidades luminosas locais registradas. Nota: Estes são os dados brutos; os mesmos são apresentados no APÊNDICE-B na escala logarítmica para uma melhor visualização. ....   | 80 |
| FIGURA 33. Adultos de <i>Bicellonycha lividipennis</i> em área iluminada no Jd. Clarice. Fonte: Fotografias obtidas por Vadim Viviani. Legenda: (A) o início de atividade com iluminação natural; (B) maior número de indivíduos ativos durante o crepúsculo; (C) atividade mesmo com consideráveis níveis de luz artificial presente no ambiente. ....   | 81 |
| FIGURA 34. Adultos de <i>Bicellonycha lividipennis</i> em atividade (lampejando) durante o crepúsculo (com alta intensidade de luz ambiental) em área de pasto brejoso na Fazenda Santana. Fonte: Fotografia obtidas por Vadim Viviani. ....  | 83 |
| FIGURA 35. Adulto de <i>Bicellonycha lividipennis</i> ativo perambulando na área palustre do Jd. América sob efeito de intensa iluminação urbana (principalmente de sódio). Fonte: Fotografia disponibilizada por Vadim Viviani. ....   | 84 |
| FIGURA 36. Situação do local onde já foram observados <i>Bicellonycha lividipennis</i> e <i>Aspisoma lineatum</i> no Jd. América. Fonte: Arquivo pessoal. Data: agosto de 2013. ....  | 85 |
| FIGURA 37. Boxplot do número de indivíduos de <i>Bicellonycha lividipennis</i> observados pelo método para a comparação da abundância em relação ao fator luz artificial. Legenda: “iluminada” refere-se à área de brejo na Chácara Santo Amaro, no Jd. Clarice; “não iluminada” refere-se à área de brejo no <i>Campus</i> da UFSCar Sorocaba. ....  | 88 |
| FIGURA 38. Gráfico das estatísticas-t geradas pelo processo de aleatorização (a); gráfico de quantis da distribuição normal pelo valor de t para verificação da normalidade para as estatísticas geradas por aleatorização. Legenda: a linha tracejada em ‘a’ corresponde a 5% da distribuição dos valores de t. Nota: a distribuição t está centrada ao redor de 0, o valor de t positivo corresponde ao valor de t negativo. O que é considerado na análise é a magnitude de t, não o sinal. ....                         | 89 |
| Os espectros de bioluminescência de adultos de <i>Bicellonycha lividipennis</i> e os espectros de iluminação ambiental e artificial de luz de sódio (Figura 39). Figura 39. Espectro de bioluminescência de <i>Bicellonycha lividipennis</i> , espectros da luz da abóboda celeste a oeste em minutos após o pôr do sol, e o espectro de uma fonte de luz de vapor de sódio. ....   | 91 |
| Figura 40. Sobreposição do espectro da luz uma lâmpada de sódio com o espectro de bioluminescência de uma espécie de vaga-lume. Legenda: as setas indicam os picos e as linhas tracejadas delimitam as áreas integradas na região dos picos da luz de sódio (Tabela 9). ....  | 92 |
| FIGURA 41. Três intervalos da sobreposição de espectros de luz de sódio e de <i>Bicellonycha lividipennis</i> . ....  | 93 |
| FIGURA 42. Sobreposição do espectro de bioluminescência de <i>Bicellonycha lividipennis</i> com a luminosidade do crepúsculo. ....  | 94 |

**LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Padrões de sinalização para identificar as espécies na região de Sorocaba.....   | 39 |
| Tabela 2. Riqueza de espécies de coleópteros bioluminescentes nos locais investigados e porcentagem da fauna total encontrada na Serra de Paranapiacaba. ....  | 51 |
| Tabela 3. Lista de espécies da Serra da Paranapiacaba e habitats de ocorrência. ....   | 52 |
| Tabela 4. Riqueza de espécies e porcentagem em relação aos lampirídeos da Serra de Paranapiacaba. ....   | 57 |
| Tabela 5. Riqueza de espécies de elaterídeos bioluminescentes e porcentagem em relação ao total deste grupo na Serra de Paranapiacaba. ....  | 59 |
| Tabela 6. Riqueza de espécies de fengodídeos por localidade e proporção comparada com as espécies de fengodídeos de Paranapiacaba. ....  | 62 |
| Tabela 7. Período de ocorrência dos adultos de algumas espécies que foram encontradas em Sorocaba nas coletas e segundo a literatura para esta e outras localidades no interior do Estado de São Paulo. .... | 67 |
| Tabela 8. Número de indivíduos contados nos transectos em uma área sem iluminação e em uma área iluminada durante seis noites de coleta. ....  | 87 |
| Tabela 9. Porcentagem de sobreposição da luz de sódio com o espectro de bioluminescência nas regiões dos picos. ....   | 92 |
| Tabela 10. Faixas de sobreposição dos espectros de Sódio e do vaga-lume. ....  | 93 |
| Tabela 11. Faixas de sobreposição dos espectros de ambiental do pôr do sol e do vaga-lume. ....  | 94 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                     |  |
|---------------------|--|
| PECB                | Parque Estadual Carlos Botelho   |
| IPT                 | Instituto de Pesquisas Tecnológicas  |
| UC                  | Unidade de Conservação   |
| SP                  | Estado de São Paulo  |
| UFSCar              | Universidade Federal de São Carlos   |
| SA de Paranapiacaba | Serra de Paranapiacaba   |
| i3Geo               | nome de software livre para a internet   |
| MMA                 | Ministério do Meio Ambiente  |
| m <sup>2</sup>      | metro quadrado   |
| Jd.                 | Jardim (bairro/vila)   |
| Pq.                 | Parque (bairro/vila)   |
| FLONA               | Floresta Nacional  |
| UV                  | Ultravioleta   |
| °GL                 | Grau Gay Lussac (porcentagem volumétrica)  |
| MZUSP               | Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo   |
| lux (lx)            | Unidade de medida do Sistema Internacional para Iluminância<br>(fluxo por unidade de área) |
| m                   | metro  |
| CCD                 | “ <i>charge-coupled device</i> ”, um sensor de luz   |
| UV-Vis              | Região do espectro ultravioleta-visível  |
| V                   | Volt   |
| nm                  | nanômetro  |
| ms                  | microsegundo   |
| μL                  | microlitro   |
| mg                  | miligrama  |
| mL                  | mililitro  |
| PMT Voltage         | tensão no fotomultiplicador  |
| UNESP               | Universidade do Estadual Paulista  |
| E.B.B.              | Estação Biológica de Boracéia  |
| min                 | minutos  |
| λ                   | comprimento de onda  |

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| <b>Folha de Aprovação</b> .....  | II   |
| Dedicatória .....  | III  |
| Agradecimentos .....   | IV   |
| Resumo .....   | VI   |
| Abstract .....   | VII  |
| Lista de Ilustrações .....   | VIII |
| Lista de Tabelas .....   | XI   |
| Lista de Abreviaturas.....   | XII  |
| Sumário .....  | XIII |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 16   |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 17   |
| 2.1. BIOLUMINESCÊNCIA.....   | 17   |
| 2.2. BIOLUMINESCÊNCIA EM INSETOS .....   | 17   |
| 2.3. DIVERSIDADE DE COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES .....                                       | 17   |
| 2.4. FAMÍLIAS DE COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES .....  | 18   |
| 2.5. FUNÇÕES DA BIOLUMINESCÊNCIA EM COLEÓPTEROS<br>BIOLUMINESCENTES .....                    | 20   |
| 2.6. EFEITOS ADVERSOS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM ANIMAIS .....                              | 22   |
| 2.7. EFEITOS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM INSETOS .....                                       | 23   |
| 2.8. POTENCIAIS INTERFERÊNCIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM<br>INSETOS BIOLUMINESCENTES ..... | 23   |
| <b>3. OBJETIVOS</b> .....  | 25   |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 26   |
| 4.1. LOCAIS DE ESTUDO .....  | 26   |
| <b>4.1.1 Áreas para estudo da riqueza</b> .....  | 26   |
| 4.1.1.1 Serra de Paranapiacaba .....   | 26   |
| 4.1.1.1.1 Trilha da Cachoeira do Chá (Tapiraí-SP) .....                                      | 27   |
| 4.1.1.1.2 Parque Estadual Carlos Botelho (São Miguel Arcanjo-SP) .....                       | 27   |
| 4.1.1.1.3 Parque Estadual Intervales (Ribeirão Grande-SP).....                               | 28   |
| <b>4.1.2 Áreas para o estudo comparativo</b> .....   | 28   |
| 4.1.2.1 Região de Sorocaba-SP (Sorocaba, Votorantim e Salto de Pirapora) .....               | 28   |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| 4.1.2.1.1   | <i>Campus da UFSCar Sorocaba</i> .....  | 29 |
| 4.1.2.1.1.1 | <b><i>Depressão brejosa do Campus (Campus brejo)</i></b> .....  | 31 |
| 4.1.2.1.2   | <i>Ecorresidencial Jequitibás</i> .....   | 31 |
| 4.1.2.1.3   | <i>Jd. América, Sorocaba-SP</i> .....   | 32 |
| 4.1.2.1.4   | <i>Jd. Clarice, Votorantim-SP</i> .....   | 32 |
| 4.1.2.1.5   | <i>Jd. Clarice II, Votorantim-SP</i> .....  | 33 |
| 4.1.2.1.6   | <i>Outras localidades de coletas e observações do projeto</i> .....   | 34 |
| 4.1.2.1.6.1 | <b><i>Floresta Nacional de Ipanema (FLONA Ipanema) em Iperó-SP</i></b> .....  | 34 |
| 4.1.2.1.6.2 | <b><i>Fazenda Santana (Sousas-SP)</i></b> .....   | 35 |
| 4.2         | TÉCNICAS DE COLETA .....  | 36 |
| 4.2.1       | <b>Coleta Ativa</b> .....   | 36 |
| 4.2.1.1     | Rede Entomológica .....   | 36 |
| 4.2.1.2     | Coleta Manual .....   | 37 |
| 4.2.2       | <b>Coleta Passiva</b> .....   | 37 |
| 4.2.2.1     | Armadilha luminosa .....  | 37 |
| 4.3         | MONTAGEM DOS INSETOS PARA A COLEÇÃO ENTOMOLÓGICA .....  | 37 |
| 4.4         | IDENTIFICAÇÃO .....   | 38 |
| 4.5         | MEDIDAS DE INTENSIDADE LUMINOSA .....   | 39 |
| 4.6         | MEDIDAS DE ESPECTROS DE ILUMINAÇÃO AMBIENTAL .....  | 40 |
| 4.7         | ESPECTROS DE BIOLUMINESCÊNCIA .....   | 42 |
| 4.8         | QUANTIFICAÇÃO DE VAGA-LUMES PARA ESTUDOS DE<br>SAZONALIDADE E EFEITOS DE POLUIÇÃO LUMINOSA .....  | 43 |
| 4.9         | AMOSTRAGENS PARA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LUZ<br>ARTIFICIAL EM POPULAÇÕES DE <i>Bicellonycha lividipennis</i><br>Motschulsky, 1854 ..... | 45 |
| 4.9.1       | <b>Escolha da espécie <i>Bicellonycha lividipennis</i> Motschulsky, 1854</b> .....  | 45 |
| 4.9.2       | <b>Estimativa de densidade populacional</b> .....   | 45 |
| 4.10        | ANÁLISE DE DADOS .....  | 49 |
| 4.10.1      | <b>Comparação por similaridade</b> .....  | 49 |
| 4.10.2      | <b>Teste de hipótese a partir dos dados para <i>Bicellonycha lividipennis</i></b> .....   | 49 |
| 5.          | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 51 |
| 5.1.        | RIQUEZA DE ESPÉCIES DA SERRA DE PARANAPIACABA .....   | 51 |
| 5.1.1       | <b>Lampyridae</b> .....   | 57 |
| 5.1.2       | <b>Elateridae</b> .....   | 59 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.1.3   | Phengodidae .....   | 61  |
| 5.1.4   | Considerações sobre a diversidade na SA de Paranapiacaba.....   | 63  |
| 5.1.5   | Comparação de similaridade com outras comunidades.....  | 64  |
| 5.2     | EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA DIVERSIDADE DE<br>COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES .....   | 65  |
| 5.2.1   | Sazonalidade das espécies mais comuns encontradas nas áreas<br>investigadas .....   | 66  |
| 5.2.2   | Horário de atividade bioluminescente das espécies .....   | 69  |
| 5.2.2.1 | Horário de atividade de <i>Bicellonycha lividipennis</i> .....  | 69  |
| 5.2.2.2 | Horário de atividade de <i>Bicellonycha ornaticollis</i> .....  | 72  |
| 5.2.2.3 | Horário de atividade de <i>Pyrogaster moestus</i> .....   | 72  |
| 5.2.2.4 | Horário de atividade de <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub> .....   | 73  |
| 5.2.2.5 | Horário de atividade de <i>Aspisoma lineatum</i> .....  | 75  |
| 5.2.2.6 | Horário de atividade de <i>Aspisoma physonotum</i> .....  | 76  |
| 5.2.2.7 | Horário de atividade de <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub> .....   | 77  |
| 5.2.3   | Efeitos da iluminação artificial na diversidade e atividade de vaga-lumes .....   | 78  |
| 5.2.3.1 | Efeito da iluminação artificial na diversidade de vagalumes em diferentes<br>áreas .....  | 80  |
| 5.3     | INFLUÊNCIA DA LUZ ARTIFICIAL NA ATIVIDADE E POPULAÇÕES<br>DA ESPÉCIE PALUSTRE <i>Bicellonycha lividipennis</i> Motschulsky 1854 ..... | 86  |
| 5.4     | RELAÇÕES ENTRE ESPECTROS DE ILUMINAÇÃO AMBIENTAL E<br>ARTIFICIAL, E ESPECTROS DE BIOLUMINESCÊNCIA .....                               | 90  |
| 5.4.1   | Comparação com espectro de <i>Bicellonycha lividipennis</i> .....   | 91  |
| 6.      | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 96  |
| 7.      | CONCLUSÕES .....  | 98  |
|         | REFERÊNCIAS .....   | 99  |
|         | APÊNDICE A .....  | 108 |
|         | ANEXO 1 .....   | 109 |

## 1. INTRODUÇÃO

São aproximadamente 2000 as espécies de lampirídeos bioluminescentes no mundo (MCDERMOTT, 1966; OHBA, 1983; COSTA, VANIN e CASARI-CHEN, 1988; LEWIS, 2009). Sendo o Brasil, o país que possui maior diversidade de organismos bioluminescentes (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010; VIVIANI e SANTOS, 2012). Muitas das espécies presentes na região tropical estão por serem coletadas, catalogadas identificadas ou mesmo descritas (LLOYD, 2006). Apesar dessa diversidade e dos grandes esforços para o levantamento das espécies de coleópteros bioluminescentes que ocorrem no país, as taxas de fragmentação de habitat pela conversão da cobertura vegetal natural por pastagens, plantios e urbanização são crescentes, o que pode levar ao desaparecimento de espécies que nem ao menos foram descritas ou catalogadas em sua distribuição.

Os vaga-lumes parecem ser sensíveis às alterações nos níveis de luminosidade ambiental, há relatos do desaparecimento de lampirídeos em cidades e em locais onde foi empregada iluminação elétrica (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010). Se forem sensíveis, é preocupante o risco de extinções locais. A sensibilidade pode ser considerada para a utilização desses organismos como indicadores de determinado fator impactante no meio (HOLT e MILLER, 2011).

Em geral, os espectros de bioluminescência em vagalumes lampirídeos tem ampla sobreposição com os espectros de sensibilidade ótica, maximizando a comunicação sexual por bioluminescência (LALL et al., 1980, LALL et al. 2009). Assim, partimos da hipótese que a poluição luminosa tenha maior efeito na atividade e ocorrência de vagalumes, quanto maior for o grau de sobreposição entre os espectros de iluminação ambiental com os espectros de bioluminescência, pois isto pode interferir com a detecção visual do sinal bioluminescente.

O objetivo deste estudo foi verificar a influência da luz artificial na ocorrência de vaga-lumes na região de Sorocaba e reconhecer a diversidade de coleópteros bioluminescentes, em termos de riqueza de espécies, para três localidades da Floresta Tropical Atlântica.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. BIOLUMINESCÊNCIA

Bioluminescência é a capacidade de emissão de luz no espectro visível por seres vivos, o termo foi cunhado por Harvey em 1916 e ocorre em espécies pertencentes aos mais diversos grupos de seres vivos, tanto em bactérias, protistas, fungos e animais, sendo ausente em alguns filos. A maior diversidade de organismos bioluminescentes está nos oceanos, a biodiversidade continental de organismos luminosos é bem menos expressiva, encontrada em insetos, anelídeos, moluscos e fungos (SHIMOMURA, 2006).

Inicialmente, quando a atmosfera começou a ter relevante proporção de oxigênio, até então um elemento altamente reativo e tóxico para os organismos unicelulares anaeróbicos, surgiu um mecanismo de detoxificação em uma reação química que resultou na emissão de luz (MEYER-ROCHOW, 2009).

### 2.2. BIOLUMINESCÊNCIA EM INSETOS

Em organismos terrestres, a bioluminescência é encontrada principalmente em insetos nas ordens Coleoptera, Diptera e Collembola (VIVIANI, 2007). Os representantes de Coleoptera (vaga-lumes) são bem conhecidos por sua bioluminescência, mas nem sempre referenciados como sendo besouros pelas pessoas e frequentemente associados como sendo pertencentes à outra ordem. Keroplatidae é a família de díptera que apresenta as espécies bioluminescentes (*Arachnocampa* spp., *Orfelia* spp. e *Keroplatus* spp.). Possivelmente ocorra bioluminescência em Blattodea (ZOMPRO e FRITZSCHE, 1999; VRŠANSKÝ, CHORVÁT, *et al.*, 2012). Entretanto isso tem gerado debate (MERRIT, 2013; VRŠANSKÝ e CHORVÁT, 2013).

### 2.3. FAMÍLIAS DE COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES

Na ordem Coleoptera, as famílias com representantes luminescentes estão incluídas nas superfamílias Elateroidea Leach, 1815 (LAWRENCE e NEWTON, 1995) e Staphlynoidea Latreille, 1802 (COSTA, VANIN e COLEOPICOLO NETO, 1986; ROSA,

2010). Lampyridae e Elateridae, respectivamente, são também designadas popularmente pelos termos vaga-lumes (*fireflies*) e pirilampos (*click-beetles*). Essas famílias, juntamente com Phengodidae, também conhecidos por “larvas-trenzinho” (*railroad-worm*), constituem as três principais famílias de coleópteros bioluminescentes em Elateroidea.

Rhagophthalmidae é uma família a parte de Phengodidae e de Lampyridae (BRANHAM e WENZEL, 2001; LLOYD, 1978). A descoberta de bioluminescência na família Staphylinidae é relativamente recente (COSTA, VANIN e COLEOPICOLO NETO, 1986; ROSA, 2010), evidenciando assim a importância dos estudos de aspectos biológicos das espécies.

#### 2.4. DIVERSIDADE DE COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES

As espécies de coleópteros da região Neotropical foram organizadas em um extenso catálogo, sendo 326 o número de espécies de lampirídeos que ocorriam no Brasil e seis de fengodídeos (BLACKWELDER, 1945). Pelo levantamento mais recente (LAWRENCE e NEWTON, 1995), são 74 espécies de elaterídeos bioluminescentes que ocorrem no Brasil. Com isso, estima-se que o número de espécies bioluminescentes dessas três famílias, que ocorrem no Brasil, varia de 406, a aproximadamente 500 espécies. Considerando que no mundo, a bioluminescência é encontrada em aproximadamente 2000 espécies em Coleoptera, estima-se que aproximadamente 20,25% da fauna bioluminescente é encontrada no Brasil. O país abriga cerca de 23% das espécies (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010). Entretanto, o número de espécies que ainda não foram descritas pode ser maior nessas áreas (LLOYD, 2006).

Recentemente (ROSA, COSTA e HIGASHI, 2010) descreveram estágios imaturos e a bioluminescência para *Fulgeochlizus bruchi* – uma espécie do região Neotropico. Foi realizado avanço no entendimento sobre a evolução molecular de características para a luciferase dessa espécie (AMARAL, PRADO e VIVIANI, 2012). Isso mostra que o registro de presença de bioluminescência para essa e outras espécies, contribui para o conhecimento da biodiversidade, da história natural dos grupos e para o entendimento da evolução molecular e de funções biológicas da bioluminescência.

## 2.5. FUNÇÕES DA BIOLUMINESCÊNCIA EM COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES

A função primária da bioluminescência em lampirídeos é a provável sinalização de alerta emitida pelas larvas. Estas possuem bioluminescência mesmo quando ocorre perda dos órgãos fóticos nos adultos. Na maioria das vezes as larvas emitem luz quando tocadas ou “manuseadas”, sendo interpretado assim como um sinal que pode ser devido a um mecanismo para evitar o risco de predação (LEWIS, 2009). Em um primeiro momento pode parecer estranho tentar explicar a presença da bioluminescência que torna o indivíduo conspicuo em relação ao meio como um meio de se evitar o risco de predação, mas evidências recentes apontam que assim como padrões de coloração das espécies, a bioluminescência deve ter sofrido pressões de seleção semelhantes (DE COCK, 2009; LEWIS, 2009).

Para a efetividade do aposematismo do sinal bioluminescente, deve ocorrer dependência entre impalatabilidade de uma série de besouros bioluminescentes e o potencial de aprendizado do predador em associar a bioluminescência a um sabor desagradável; a impalatabilidade é conferida por meio de defensivos químicos presente em muitos besouros bioluminescentes; nos lampirídeos – as lucibufaginas (LEWIS, 2009).

Como explicação evolucionária, posterior à função de aposematismo nas larvas, a bioluminescência passou a ser retida nos adultos e por meio de seleção sexual evoluiu, passando a ter função de comunicação intraespecífica (BRANHAM e WENZEL, 2003; LEWIS, 2009).

A comunicação em lampirídeos pode ser reconhecida por quatro tipos básicos: (1) sinais de feromônios produzidos pelas fêmeas para atrair machos não sinalizadores em vôo, típico em espécies diurnas em que nenhum dos sexos usa a bioluminescência como sinal sexual, mesmo que os adultos sejam capazes de emitir luz; (2) sinais de luminescência contínua nas fêmeas, junto aos feromônios, em que as fêmeas, assim como no tipo anterior, permanecem sedentárias, mas além do sinal químico que pode atrair machos voadores a distâncias relativamente consideráveis, emitem brilho contínuo que permitem a localização de curto alcance; (3) sinais luminosos emitidos por ambos os sexos, onde os machos à procura das fêmeas emitem sinal e as fêmeas respondem; (4) sinalização de machos estacionários em sincronia para a atração de fêmeas em voo (LEWIS, 2009).

Além da variedade de tipos de sinais de comunicação nos lampirídeos, há também uma diversidade de cores da luz emitida por esses besouros, que é devida à variedade de luciferases que existe entre eles, desde que as luciferinas são idênticas nas três principais famílias dos Elateroidea bioluminescentes (BECHARA, COSTA, *et al.*, 2007; VIVIANI, 2007). A função da bioluminescência também difere entre as três famílias. Nos lampirídeos, como mencionado, a bioluminescência está relacionada principalmente à comunicação intraespecífica nos adultos e interespecífica aposematismo nas larvas. Há ainda funções interespecíficas que evoluíram como estratégias para o predatismo, como exemplo, a atração de presas no caso de fêmeas de espécies de Photurinae que mimetizam o sinal sexual de resposta ao macho de espécies de *Photinus* para predá-los (LLOYD, 1984).

De maneira análoga aos lampirídeos, nas fêmeas e larvas de fengodídeos, a bioluminescência parece ser relacionada a comportamento aposemático e nos machos adultos à localização de curto alcance da fêmea. Além de possuírem lanternas puntiformes nas laterais do corpo ocorre presença de lanterna na região da cabeça, argumenta-se que ela possa ser útil durante o forrageamento na procura de presas (VIVIANI comunicação pessoal). O que reforça esse argumento é a emissão espontânea de luz pelas larvas durante suas andanças (COSTA, VANIN e CASARI-CHEN, 1988) e a hipótese de que o canal visual de *Phrixothrix* spp. seria diferente dos de suas presas, favorecendo a captura (VIVIANI e BECHARA, 1997; LALL, CRONIN, *et al.*, 2009).

Em elaterídeos, além da comunicação sexual intraespecífica para a sinalização de localização pela fêmea ou de corte para o macho, a bioluminescência das larvas é relacionada à uma reação agressiva em algumas espécies. Também tem por função a atração de presas, como no caso das larvas de *Pyrearinus termitiluminans* em ninhos de Isoptera no Parque Nacional das Emas (REDFORD, 1982; COSTA, VANIN e CASARI-CHEN, 1988).

A evolução do sinal bioluminescente na comunicação sexual em lampirídeos está associada ao deslocamento da atividade para o período noturno (FIGURA 1): nos taxa basais presume-se como características ancestrais a atividade diurna, enquanto a atividade noturna é considerada como uma característica de taxa mais derivados (BRANHAM, 2003; LEWIS, 2009).

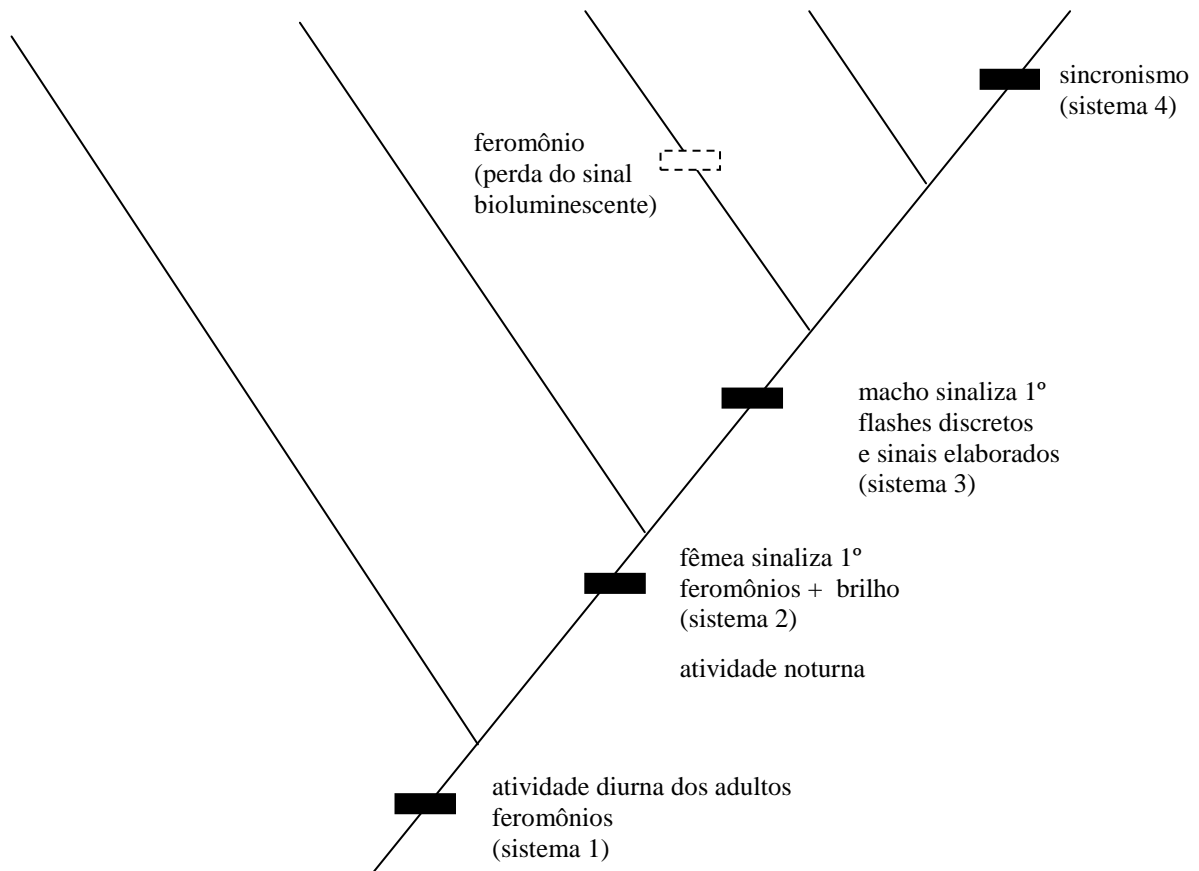


FIGURA 1. Esquema geral da evolução do sinal sexual em lampírideos. Fonte: Adaptado do exposto por Lewis (2009).

Nas espécies de lampírideos da região Neártica, há uma relação entre os espectros de bioluminescência e o horário de atividade. Para cada espécie, há um horário específico em que ocorre o início da atividade bioluminescente; este horário para as espécies noturnas é reportado na literatura em minutos após o horário do pôr-do-sol (WING, 1984). Um estudo com espécies representativas da região Neártica mostrou que espécies noturnas possuem espectro de bioluminescência predominante em comprimentos de onda na região verde do espectro visível; em espécies vespertinas, por outro lado, a coloração da luz emitida é mais deslocada para o amarelo-alaranjado para contrastar com o efeito de refletância da vegetação na região do verde (LALL, SELIGER, *et al.*, 1980). Para espécies do Brasil, esta relação parece não ser tão evidente, provavelmente devido ao fato de que o crepúsculo é relativamente mais curto em menores latitudes, não ocorrendo pressão de adaptação para as espécies vespertinas (VIVIANI e BECHARA, 1995; VIVIANI, 2001). Isso, entre outros



fatores, indica que a iluminação ambiental influencia a fotoecologia das espécies (LLOYD, 2006).

## 2.6. EFEITOS ADVERSOS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM ANIMAIS

A iluminação artificial tem sido apontada como tendo efeitos adversos na fisiologia e comportamento de animais noturnos (HARDER, 2002). A poluição luminosa tem sido cada vez mais reconhecida como um problema ambiental (BAILEY, 2006). A poluição luminosa ecológica é definida como a alteração dos padrões naturais de luz e escuridão nos ecossistemas, distinguindo-se da poluição luminosa astronômica, que é a luz artificial excessiva que impede a visão do céu durante a noite (LONGCORE e RICH, 2004).

A iluminação artificial tem influência sobre a fauna e a flora. Em tartarugas marinhas, a iluminação artificial na orla orienta os filhotes na direção oposta ao mar, o que aumenta a taxa de mortalidade dessas espécies nessas áreas, além disso, a iluminação artificial nas praias influencia no comportamento de postura de ovos pelas fêmeas (WITHERINGTON, 1992; SALMON, REINERS, *et al.*, 1995; SALMON, 2003).

Aves em áreas iluminadas artificialmente podem ter canto territorialista induzido (BERGEN e ABS, 1997). Evidências sugerem que a iluminação artificial pode influenciar na escolha do local do ninho (MOLENAR, JONKERS e SANDERS, 2000). Zonas mais iluminadas de grandes centros urbanos podem ainda desorientar e aprisionar aves migratórias (OGDEN, 1996). Estruturas iluminadas como edifícios, plataformas de petróleo (WIESE, MONTEVECCHI, *et al.*, 2001), embarcações (DICK e DONALDSON, 1978) e torres de comunicação (OGDEN, 1996) resultam na mortalidade direta e podem interferir nas rotas de migração, pois a luz vermelha interfere na orientação magnética das espécies (GAUTHREAU JR. e BELSER, 2006).

A iluminação artificial noturna pode também beneficiar algumas espécies, sendo apontada como uma força ecologicamente destrutiva. Ela pode, por exemplo, estender o período de forrageamento de espécies diurnas como lagartos ou alterar o período de atividade de anfíbios (PERRY, BUCHANAN, *et al.*, 2008) e a atividade de espécies crepusculares como aves canoras. Isto tem sido denominado “*night light niche*”, que apesar de parecer benéfico para as espécies que tem um aumento no período de forrageamento, pode também aumentar o risco de encontros agonísticos (LONGCORE e RICH, 2004; LONGCORE, 2010).

## 2.7. EFEITOS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM INSETOS

As influências da iluminação artificial em ecologia de comunidades e biodiversidade são bem menos conhecidas, constituindo um novo campo a ser explorado pela pesquisa em ecologia e um importante desafio para a conservação (LONGCORE e RICH, 2004). Em insetos noturnos como mariposas e alguns grupos de besouros, o efeito adverso na atração e mortalidade pela luz artificial é reconhecido há bastante tempo (FRANK, 1988; NOWINSZKI, 2004; BARGHINI, 2008). Alguns insetos apresentam fototaxia positiva como um comportamento adaptativo e outros fototaxia negativa. A atração de insetos depende do espectro da fonte luminosa, sendo a região do ultravioleta bastante atrativa para esses organismos (LONGCORE e RICH, 2004; BARGHINI e DE MEDEIROS, 2012). Lâmpadas de vapor de mercúrio causam interferência na detecção de ruídos ultra-sônicos por mariposas *Operophtera* spp. (Lepidoptera: Geometridae), deixando-as incapazes de apresentar comportamento de fuga diante de predadores como morcegos (SVENSSON, RYDELL e BROWN, 1999).

## 2.8. POTENCIAIS INTERFERÊNCIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM INSETOS BIOLUMINESCENTES

A bioluminescência ocorre preferencialmente em locais desprovidos de luz como em animais que habitam zonas afóticas ou abissais nos oceanos; no ambiente terrestre, larvas de *Arachnocampa* spp. (Diptera: Keroplatidae) são encontradas no interior de cavernas, enquanto os vaga-lumes são frequentemente encontrados em atividade durante o período noturno. Dessa forma, a iluminação artificial no ambiente pode ter influências negativas para espécies que utilizam a bioluminescência para comunicação, reprodução ou atração de presas.

A bioluminescência é utilizada por vaga-lumes na comunicação visual intraespecífica para a atração de parceiros para reprodução (LEWIS, 2009), na defesa contra predadores e em alguns casos na atração de presas (LLOYD, 1984; EISNER, GOETZ, *et al.*, 1997) – nesse caso, ocorre um tipo de comunicação interespecífica. Por dependerem da bioluminescência para a reprodução, esses organismos podem ser especialmente sensíveis às condições da iluminação ambiental (LALL, SELIGER, *et al.*, 1980). As fêmeas de vaga-lumes podem atrair os machos a distâncias de até 45m por meio do sinal bioluminescente. A presença de iluminação artificial no ambiente pode interferir com essa comunicação e, com

isso, o complexo sistema de comunicação visual de vaga-lumes seria prejudicado pela luz artificial (LLOYD, 1994).

Em várias localidades do mundo foi registrada a diminuição ou desaparecimento de espécies de vaga-lumes em áreas urbanas e industrializadas (LLOYD, 1994; VIVIANI, 2001; BARGHINI, 2010). Espécies tropicais podem ser mais sensíveis a alterações no padrão nictimeral de luminosidade ambiental, uma vez que a transição do período entre claro e escuro é relativamente rápida nessas regiões se comparado ao de regiões de latitudes superiores (LONGCORE e RICH, 2004). No sudeste do Brasil – em locais investigados na região de Campinas foi constatado desaparecimento de espécies de vaga-lumes em localidades onde foram instaladas fontes de luz artificial (VIVIANI, 2001) (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010). Dessa forma, coleópteros bioluminescentes podem vir a constituir valiosos indicadores ambientais do impacto da iluminação artificial, sendo apropriados para se investigar as consequências da iluminação artificial em ambientes naturais (LLOYD, 2006).

### **3. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da luz artificial na ocorrência de vaga-lumes na região de Sorocaba e determinar a riqueza de espécies de coleópteros bioluminescentes em uma região de Floresta Tropical Atlântica.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. LOCAIS DE ESTUDO**

Os locais das coletas e observações foram estabelecidas de acordo com os objetivos do trabalho, desta forma são apresentadas em primeiro lugar as áreas de estudo de biodiversidade na Serra de Paranapiacaba e posteriormente as áreas específicas de estudo referentes à investigação da ocorrência de espécies em áreas iluminadas e áreas não iluminadas comparáveis.

#### **4.1.1. Áreas para estudo da riqueza**

Os locais investigados estão localizados em um grande contínuo remanescente de Floresta Tropical Atlântica ao longo da Serra da Paranapiacaba (SA da Paranapiacaba), situada a cerca de 100km da costa, sendo o divisor de águas de três grandes bacias hidrográficas do Estado de São Paulo: as Bacias do Sorocaba-Médio Tietê e do Paranapanema a oeste e a Bacia do Ribeira a leste.

##### **4.1.1.1. Serra de Paranapiacaba**

O principal tipo de vegetação nos locais onde foram realizados os levantamentos é de floresta ombrófila densa Montana. A heterogeneidade ambiental detectada nos locais foi observada como habitats onde os indivíduos puderam ser identificados: (I) habitat florestal nas regiões altas ou nas declividades do terreno; (II) habitat florestal entre as partes altas do terreno nas áreas ao longo de corpos d'água, áreas úmidas, mas com vegetação arbórea (ripária); (III) áreas úmidas ao longo de corpos d'água com presença de gramíneas nas bordas e vegetação típica desses ambientes; (IV) campo aberto e áreas de borda próximo à represamento de água, em trilhas mais largas, estradas e fazendas vizinhas às Unidades de Conservação com espécies vegetais mais tolerantes à luminosidade, como gramíneas e lianas (FIGURA 2).



FIGURA 2. Principais tipos de vegetação nas áreas de estudo. (a) Floresta Atlântica Montana no Parque Estadual Carlos Botelho, (b) Floresta pluvial no Parque Carlos Botelho, 2010. Vista de uma área brejosa de mata ripária no Rio Taquaral 2011; (c) Campo aberto e áreas de borda, 2011. Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.1.1.1.1. Trilha da Cachoeira do Chá (Tapiraí-SP)

Local situado na porção mais a norte do que os outros locais aqui descritos para a Serra de Paranapiacaba, em que as formas do relevo da área segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo é de Relevo de Morros com: “Montanhas com vales profundos” – topos angulosos e arredondados, vertentes com perfis retilíneas a convexas, drenagem de alta densidade, padrão dendrídico, vales fechados ; “Morros Paralelos” – topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexas, drenagem de alta densidade, padrão em treliça ou localmente subdendrítica, vales fechados a abertos, planícies aluvionais interiores restritas; “Mar de Morros” – topos arredondados, vertentes com perfis convexas e retilíneos, drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, vales abertos ou fechados, planícies aluvional interiores desenvolvidas compostas geralmente de um conjunto de formas de “meia laranja”. Na área escolhida para as coletas e observações no local fica próximo à Cachoeira do Chá, em local relativamente próximo à rodovia SP-79, no local o relevo apresenta fortes declives e a floresta é cortada por riachos de cabeceira que pertencem à Bacia do Ribeira.

#### 4.1.1.1.2. Parque Estadual Carlos Botelho (São Miguel Arcanjo-SP)

As formas de Relevo para a área investigada no Parque Estadual Carlos Botelho (PECB), segundo o observado no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT), são Relevo de Morros e Relevo de Morrotes. No Relevo de Morros temos as classificações “Morros Paralelos” e a de “Montanhas com vales profundos”, como já descritos anteriormente para a área de Tapiraí. Relevo de Morrotes com “Morrotes baixos” – relevo

ondulado onde predominam amplitudes locais menores que 50m e topos arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, drenagem de alta densidade, padrão em treliça, vales fechados a abertos, planícies aluviâres interiores restritas. Nos locais onde foram realizadas as coletas e observações no PECB e nas áreas de entorno as formas do terreno eram bastante variadas, esses locais estão situados na parte norte da Unidade de Conservação (UC), na estrada e em trilhas no interior da mata próximas à sede da unidade no município de São Miguel Arcanjo-SP.

#### *4.1.1.1.3. Parque Estadual Intervales (Ribeirão Grande-SP)*

As formas de Relevo no Parque Estadual Intervales (PE Intervales), segundo o que está no Mapa Geomorfológico do Estado (IPT), são Relevo de Morros com as classificações de “Morros Paralelos”, já descrito anteriormente para as duas localidades anteriores, e a de “Morros com Serras Restritas” – com morros de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptos, presença de serras restritas, drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a pinulado, vales fechados, planícies aluvionares interiores restritas. Há ainda no PE Intervales os Relevos Cársticos sem coberturas sedimentares com “Serras em áreas de sumidouros” – essas apresentam topos arredondados a angulosos, vertentes com perfis convexos a reticulares, drenagem de média densidade, padrão retangular, vales fechados, presença de sumidouros e cavernas.

A cobertura florestal é de Floresta Tropical ombrófila densa Montana e submontana. As coletas foram realizadas em trilhas no interior da mata e em área de borda da mata nas áreas que margeiam as estradas no interior da UC.

### **4.1.2. Áreas para o estudo comparativo**

#### **4.1.2.1. Região de Sorocaba-SP (Sorocaba, Votorantim e Salto de Pirapora)**

As áreas selecionadas para o estudo da influência de luz artificial nas assembleias de coleópteros bioluminescentes localizam-se principalmente em três municípios: Sorocaba (*Campus* da UFSCar e Jardim América), Votorantim (Jardim Clarice) e Salto de Pirapora (Brejo do *Campus* da UFSCar) (FIGURA 3), situados num ambiente de ecótono

entre os ecossistemas de Cerrado para Mata Atlântica, situado na porção oeste da SA de Paranapiacaba.

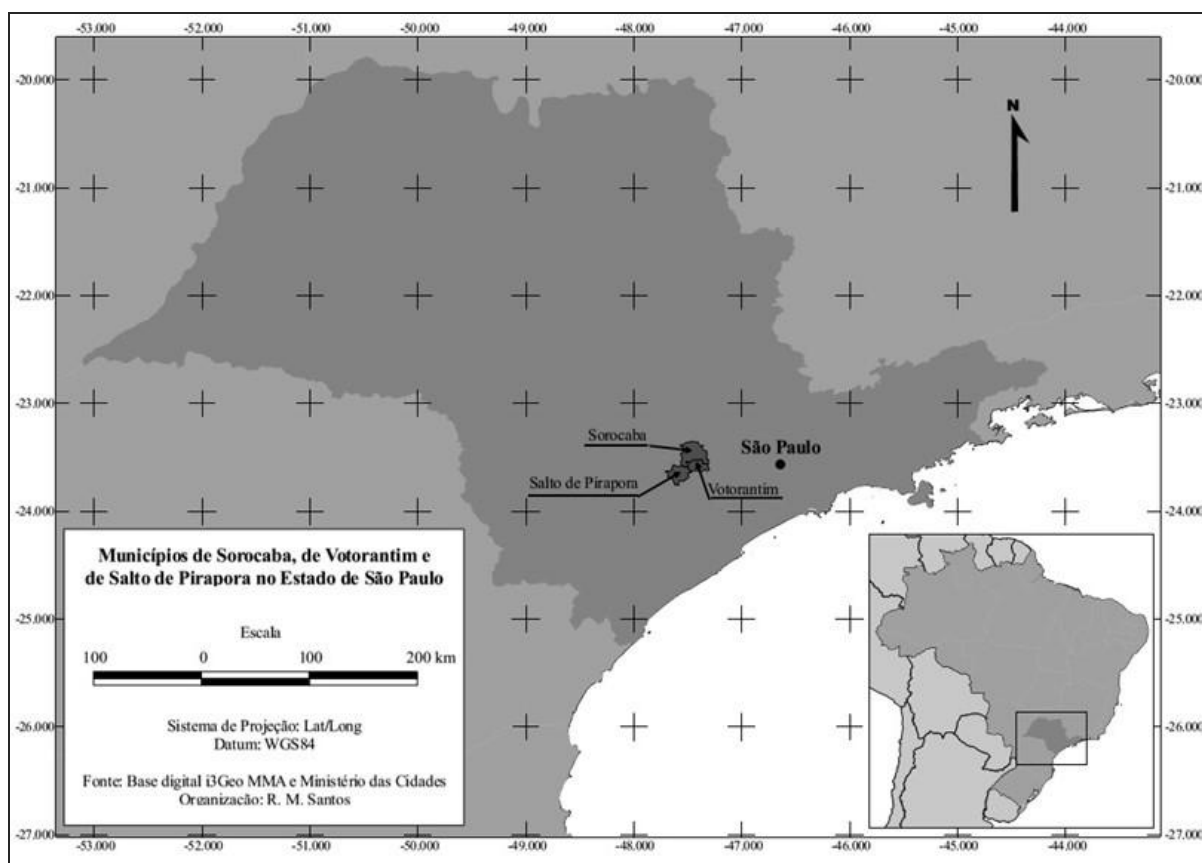


FIGURA 3. Municípios em que foram realizadas coletas e observações conforme estabelecido no projeto. Fonte: Elaborado pelo autor a partir da Base digital i3Geo MMA e Ministério das Cidades.

#### 4.1.2.1.1. Campus da UFSCar Sorocaba

Inserido em área de 700.000m<sup>2</sup>, o local apresenta fragmentos florestais que caracterizam a fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual. Segundo (KORTZ, 2009), a área é caracterizada pela presença desses fragmentos onde a declividade é maior e próximo a depressões brejosas. As áreas mais planas, hoje são ocupadas por gramíneas de *Braccharia* spp., remanescente do uso da terra para pasto antes da implantação do *Campus* na área. Além dessa gramínea exótica, espécies de Asteraceae são abundantes como o *Baccharis dracunculifolia*, *Vernonia* spp. e *Orthopappus angustifolia*. Há ocorrência também de representantes de Verbenaceae como a *Lantana trifolia*, espécies de Fabaceae como a



*Crotalaria lanceolata*, representantes de Solanaceae como *Solanum asperolatum* na região da borda de fragmentos e *Solanum palinacanthum* nas áreas abertas.

Três sítios de coleta de dados e monitoramento da atividade bioluminescente foram previamente estabelecidos e esses mesmos pontos estão sendo usados neste projeto. Os pontos de coleta representam transectos de 2m x 50m que estão localizados à diferentes distâncias em relação à fonte luminosa artificial, que são lâmpadas de multivapores metálicos da quadra poliesportiva e lâmpadas de vapor de sódio (FIGURA 4). Os transectos formam a base da metodologia dos estudos desenvolvidos neste local para a quantificação da atividade bioluminescente entre 2008 e 2010 (HAGEN, 2009; SANTOS, 2011).

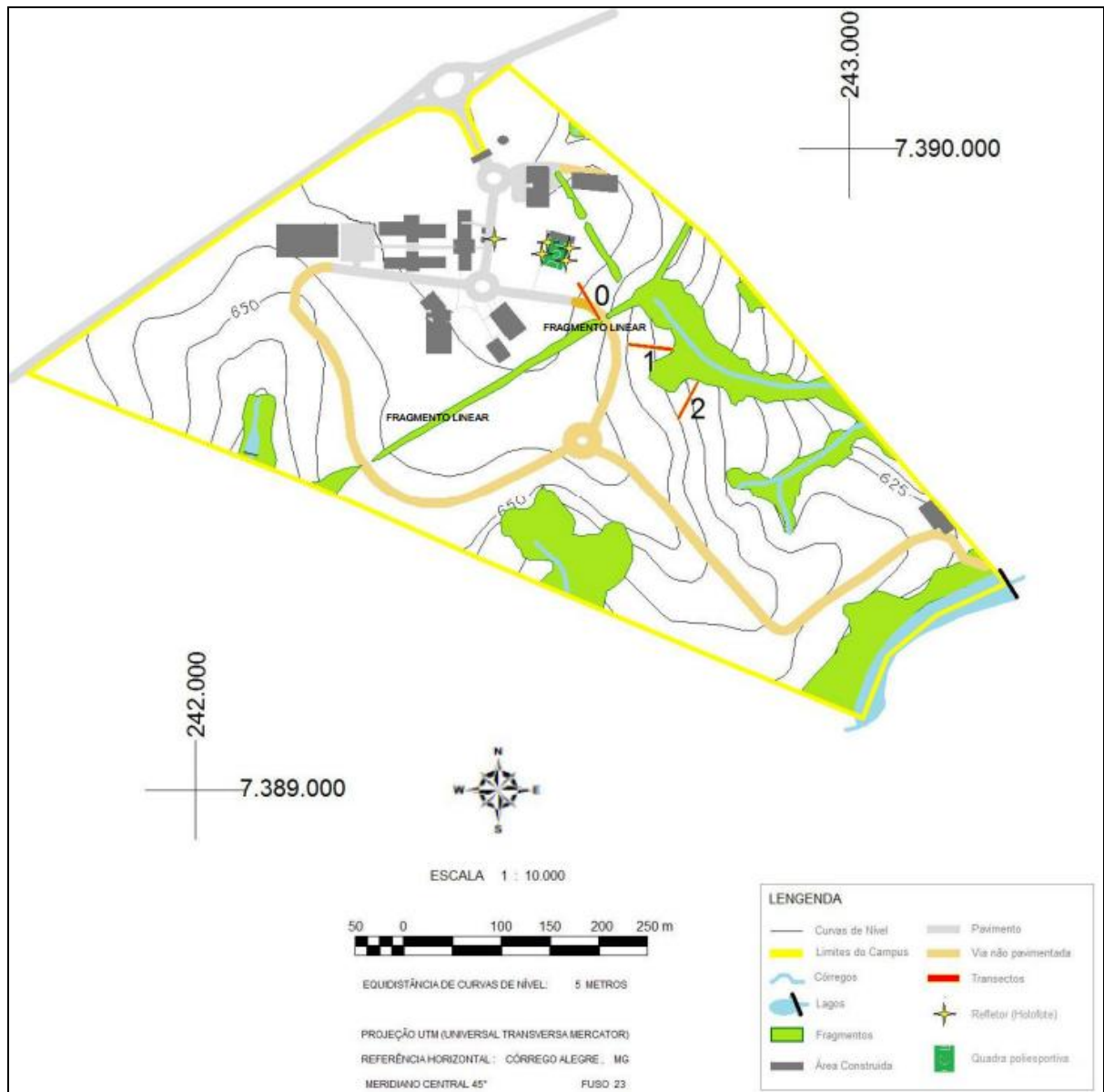


FIGURA 4. Mapa do Campus da UFSCar Sorocaba, evidenciando os transectos a diferentes distâncias das fontes luminosas mais próximas, onde 0, 1 e 2 correspondem aos transectos. Fonte: SANTOS (2011).

#### 4.1.2.1.1.1. Depressão brejosa do Campus (*Campus brejo*)

Um local específico investigado nesta localidade foi uma área brejosa, denominada aqui como “Brejo do *Campus*” ou “*Campus brejo*”, que fica às margens da porção represada do córrego Utinga ( $23^{\circ}35'12.23''S$ ,  $47^{\circ}30'58.29''O$ ), com vegetação arbórea de Cerradão na margem voltada para o *Campus* e com cinturão de taboas (*Typha* spp.) na margem oposta, na propriedade vizinha com presença de área aberta com cobertura de vegetação de forrageiras de campo de pastagem de bovinos como *Paspalum* spp. e *Brachiaria* spp. (FIGURA 5).



FIGURA 5. Imagem de satélite das áreas do *Campus* da UFSCar Sorocaba e do Ecorresidencial Jequitibá. As regiões das áreas onde foram realizadas as observações da atividade bioluminescente são destacadas pelos pontos. Fonte: Google Earth (2013).

#### 4.1.2.1.2. Ecorresidencial Jequitibás

Anteriormente denominada Fazenda Mercedes, a área de ca  $700.000m^2$  localizada no km 109 da Rodovia João Leme dos Santos ( $23^{\circ}34'30.57''S$ ,  $47^{\circ}31'2.28''O$ ), é atualmente um empreendimento imobiliário, com o avanço das obras e características evidentes de um processo de urbanização na área: há abertura de vias, pavimentação e em breve será implementado um sistema de iluminação. No local há presença de um fragmento

florestal com características semelhantes às dos fragmentos do *Campus* da UFSCar Sorocaba, já que se trata de uma área vizinha com histórico semelhante (FIGURA 5).

#### 4.1.2.1.3. *Jd. América, Sorocaba-SP*

Localizado nas coordenadas 23°30'59.62"S, 47°28'30.21"O, o local consistia da ampla área de ca 10.000 m<sup>2</sup> com um córrego e ampla área palustre com vegetação consistindo predominante de *Brachiaria* spp., e nas regiões mais baixas e próximas dos cursos d'água havia alguns cinturões de *Typha* spp (FIGURA 6). A área, entretanto foi alterada em agosto de 2012 para construção de piscina de contenção do Córrego Água Vermelha e ainda está em obras até o presente momento, no local, as observações foram realizadas antes da destruição dos ecossistemas.



FIGURA 6. Imagem de satélite do local onde foram realizadas observações de atividade bioluminescente na cidade de Sorocaba. Fonte: Google Earth (2013).

#### 4.1.2.1.4. *Jd. Clarice, Votorantim-SP*

No Jd. Clarice duas áreas foram investigadas: (1) Local sob as coordenadas 23°33'18"S 47°28'01"O, área palustre com cinturões de *Typha* spp. próximo a pastagem de gado bovino próxima ao Residencial Esplanada, sob forte influência de iluminação de vapor

de sódio das lâmpadas na via de acesso e de condomínios próximos; (2) local sob as coordenadas 23°33'06"S 47°28'08"O, área de pequeno remanescente florestal urbano próximo à uma estrada de terra, em área em rápido processo de urbanização. Na área (1) foi instalada iluminação de sódio na rua do Residencial Esplanada em 2008, e além disto, em 2010 foi inaugurado no lado oposto o residencial Alphaville, também com forte iluminação de sódio, mas de menor influência por estar mais distante (FIGURA 7).



FIGURA 7. Imagem de satélite da área de estudo em Votorantim-SP. Fonte: Google Earth (2013).

#### 4.1.2.1.5. *Jd. Clarice II, Votorantim-SP*

Outra área que foi menos investigada foi uma área de mata de encosta margeada por um córrego e área brejosa com amplo cinturão de *Typha* spp., num bairro em estado de urbanização acelerada. Margeando o brejo encontra-se a Av. Antônio Lopes dos Santos, com iluminação de sódio e em que um dos lados encontra-se urbanizado com residências (FIGURA 8).



FIGURA 8. Imagem de satélite do local onde está localizado um ponto onde foram realizadas algumas observações no Jd. Clarice II/Pq. Santos Dummont. Fonte: Google Earth (2013).

#### 4.1.2.1.6. Outras localidades de coletas e observações do projeto

Localidades fora dos municípios de Sorocaba, Votorantim ou Salto de Pirapora, onde integram áreas a investigadas com dados complementares.

##### 4.1.2.1.6.1. Floresta Nacional de Ipanema (FLONA Ipanema) em Iperó-SP

Área com remanescentes de Mata Atlântica. O local onde foram realizadas as observações constitui de uma área gramada e um trecho da estrada de terra que ficam entre a represa Hedberg e uma lagoa próxima à administração da Unidade de Conservação (23°25'47.57"S, 47°35'54.26"O). A vegetação no ponto de observação é constituída de mata ciliar de crescimentos secundários ao lado de um talhão de eucaliptos (FIGURA 9).



FIGURA 9. Imagem de Satélite indicando a área onde foi realizada observação e coleta na FLONA Ipanema em Iperó-SP. Fonte: Google Earth (2013).

#### 4.1.2.1.6.2. *Fazenda Santana (Sousas-SP)*

Na localidade foi realizada investigação em uma área brejosa de pasto equino de aproximadamente 5.000 m<sup>2</sup> às margens do Rio Atibaia (22°53'39.33"S, 46°58'16.56"O). As observações neste local foram feitas durante duas décadas, e nos últimos anos (2010-2013) foram intensificadas. Em 2010, uma das residências localizadas na frente do pasto instalou uma forte fonte de luz fluorescente, cujo feixe cobriu ampla área do pasto (FIGURA 10).



FIGURA 10. Imagem de satélite da área das observações na Fazenda Santana, em Sousas-SP. Fonte: Google Earth (2013).

## 4.2. TÉCNICAS DE COLETA

As coletas foram realizadas principalmente no período vespertino e noturno.

### 4.2.1. Coleta Ativa

Coletas específicas de algumas espécies foram realizadas por meio da busca ativa nos habitats em que essas espécies já tivessem sido observadas algumas vezes. Esse tipo de coleta foi realizado principalmente com o objetivo de fornecer material para a criação de besouros bioluminescentes do laboratório, para estudos de biologia molecular das populações e, especificamente para o presente trabalho, para a obtenção do espectro de bioluminescência *in vivo*.

#### 4.2.1.1. Rede Entomológica

Método de coleta ativa de insetos adultos em voo. Quando, por meio da emissão do sinal bioluminescente, os coleópteros bioluminescentes eram localizados, interceptava-se eles durante o voo, com o puçá.

#### 4.2.1.2. Coleta Manual

Quando os espécimes foram localizados por meio da emissão do sinal bioluminescente sobre a vegetação arbustiva ou sobre qualquer outro tipo de substrato acessível, era então realizada a coleta manual dos indivíduos. Este método é indicado para a coleta de formas larviformes e de adultos pousados ao alcance do coletor.

#### 4.2.2. Coleta Passiva

Para as séries de levantamentos locais é indicado o emprego de vários métodos de coleta para que se amostre o maior número de espécies. Para isso também foi empregado método de coleta passiva.

##### 4.2.2.1. Armadilha luminosa

Especialmente atrativa para insetos de um modo geral, para coleópteros bioluminescentes as armadilhas de luz branca são especialmente atrativas para adultos alados de fengodídeos, pode em alguns casos atrair lampirídeos e elaterídeos.

Para a atração dos insetos, era utilizada uma fonte luminosa incandescente branca – quando empregado o uso de um lampião a gás propano, ou então empregada uma lâmpada com luz UV conectada à uma bateria. Essa fonte luminosa sempre foi empregada associado a um tecido branco para a reflexão da luz da fonte para o ambiente. A coleta pelo método de luz e pano foi direcionada para as espécies de coleópteros bioluminescentes, ou seja, outros insetos atraídos não foram coletados.

#### 4.3. MONTAGEM DOS INSETOS PARA A COLEÇÃO ENTOMOLÓGICA

Para compor as séries locais de amostragem de riqueza, foi necessária a coleta de alguns indivíduos como material testemunho, amostra das espécies por localidade foi fixada e arquivada na coleção de referência do Prof. Vadim Viviani na UFSCar. Lampirídeos e elaterídeos são preferencialmente fixados em via seca e montados sobre alfinetes entomológicos. Para material proveniente de coletas em locais mais distantes, amostra do material coletado foi fixado em via úmida, em etanol  $\geq 70^\circ$  GL.



#### 4.4. IDENTIFICAÇÃO

Em laboratório, os indivíduos coletados foram identificados sob estereomicroscópio (StemiDV4 – Carl Zeiss) por comparação direta com a coleção de referência, que possui material previamente identificado de acordo com as coleções do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (São Paulo, Brasil), do Museu de História Natural de Paris (Paris, França) e com a do Museu Britânico (Londres, Reino Unido). Várias espécies da coleção de referência foram recentemente identificadas pela Dra. Simone Policena Rosa (MZUSP) durante sua visita ao Museu de História Natural de Paris (Paris, França). As espécies de Elateridae estavam previamente identificadas pela Profa. Dra. Cleide Costa (MZUSP) e Dra. Simone Policena Rosa. Vários lampirídeos e fengodídeos não puderam ser identificados até nível de espécie, e assim foram catalogados pelo gênero seguido de um número específico para referenciar diferentes taxa a nível de espécie (separados em morfoespécies), seguindo identificação da coleção de referência, publicações anteriores e as de (VIVIANI e BECHARA, 1995) e (VIVIANI, 2001).

Em campo, os lampirídeos na região de Sorocaba puderam ser reconhecidos e identificados pelo padrão do sinal bioluminescente (Tabela 1) (VIVIANI, 2001; VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010).

**Tabela 1.** Padrões de sinalização para identificar as espécies na região de Sorocaba.

| <b>Espécie</b>                   | <b>Tipo do sinal</b> | <b>Cor do espectro<br/><math>\lambda</math></b> | <b>Altura do voo*</b> | <b>Referências</b>                       |
|----------------------------------|----------------------|---|-----------------------|--|
| <i>Photinus</i> sp1              | flash simples        | amarelo<br>(575nm)                              | variavel              | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Bicellonycha lividipennis</i> | flash simples        | verde-amarelo<br>(561nm)                        | baixo                 | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Bicellonycha ornaticollis</i> | flash simples        | verde-amarelo<br>(562nm)                        | baixo                 | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Amydetes</i> sp5              | contínuo             | verde-azulado<br>(537 nm)                       | baixo                 | Viviani et al. (2010)                    |
| <i>Pyrogaster moestus</i>        | lento crescendo      | verde-amarelo<br>(557-559 nm)                   | médio-alto            | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Aspisoma lineatum</i>         | bimodulado           | verde-amarelo<br>(558-563 nm)                   | baixo-médio           | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Aspisoma</i> sp2              | lento crescendo      | verde-amarelo<br>(558-560 nm)                   | baixo-médio           | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Aspisoma neglectum</i>        | multimodulado        | verde<br>-                                      | médio-alto            | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Cratomorphus gorhami</i>      | contínuo             | verde<br>(548 nm)                               | baixo-médio           | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Cratomorphus concolor</i>     | contínuo             | verde<br>(550-554 nm)                           | médio-alto            | Viviani (2001);<br>Viviani et al. (2010) |
| <i>Pyrearinus micatus</i>        | contínuo             | verde<br>(540 nm)                               | variável              | Viviani et al. (2010)                    |
| <i>Pyrearinus candelarius</i>    | contínuo             | verde<br>(544 nm)                               | baixo                 | Viviani et al. (2010)                    |
| <i>Pyrophorus divergens</i>      | contínuo             | verde e amarelo<br>(542 e 548 nm)               | variável              | Viviani et al. (2010)                    |

Fonte: VIVIANI (2001); VIVIANI; ROCHA; HAGEN (2010). \*A altura do voo foi constatada em campo.

#### 4.5. MEDIDAS DE INTENSIDADE LUMINOSA

A intensidade luminosa nos locais de ocorrência das espécies foi quantificada em lux com o uso de um fotômetro de campo Skye Instruments SKL 300 calibrado para sensor SKL-310 (SKYE INSTRUMENTS LDT, 2007) para intensidades luminosas entre 0,001lux e 200 lux; para intensidades luminosas superiores a 200 lux, foi utilizado o luxímetro do Environmental Meter THDL-400 (INSTRUTHERM) (FIGURA 11).



FIGURA 11. Luxímetros utilizados com os seus respectivos sensores demonstrados na mão de um operador. (A) Skye SKL 300, com sensor SKL 310; (B) Medidor ambiental da Instrutherm no modo luxímetro com o respectivo sensor.

Foram tomadas medidas das intensidades luminosas naturais ao direcionar o sensor para oeste no início das observações realizadas durante a noite, quando ainda havia iluminação natural de crepúsculo. Intensidades luminosas provenientes de fontes artificiais foram medidas no local de ocorrência com o sensor direcionado para essas fontes quando ocorria iluminação direta, ou para o que refletia a luz caso a iluminação fosse indireta. A luminosidade ambiental considerada para o local de ocorrência das espécies foi obtida com o direcionamento do sensor para fonte luminosa para a captação da máxima iluminação incidente no local. Todas as medidas foram tomadas com o sensor posicionado a uma altura de 1,5m do solo e no horário após o pôr do sol com repetições das tomadas em intervalos de 10 minutos até o final do tempo de observação.

#### 4.6. MEDIDAS DE ESPECTROS DE ILUMINAÇÃO AMBIENTAL

Para verificar possível sobreposição entre espectros de diferentes fontes luminosas e ambientais e espectros de bioluminescência das espécies, espectros das fontes e do ambiente foram tomadas por meio de um espectrômetro de campo portátil Ocean Optics QE65 Pro (OCEANOPTICS, 2010), que é baseado em um detector CCD refrigerado de alta eficiência e com baixo ruído, o que permite medir espectro mesmo em baixo nível de luminosidade, pois permite que o sensor seja exposto para a detecção por um maior período de tempo (tempo de integração), sem que ocorra distorção significativa do espectro. O detector de luz do equipamento opera acoplado a um receptor e transmissor em cabo de fibra óptica QP400-2-UV-VIS fornecido pelo fabricante, para fins práticos, chamaremos a extremidade desse cabo de sensor (**FIGURA 12**).

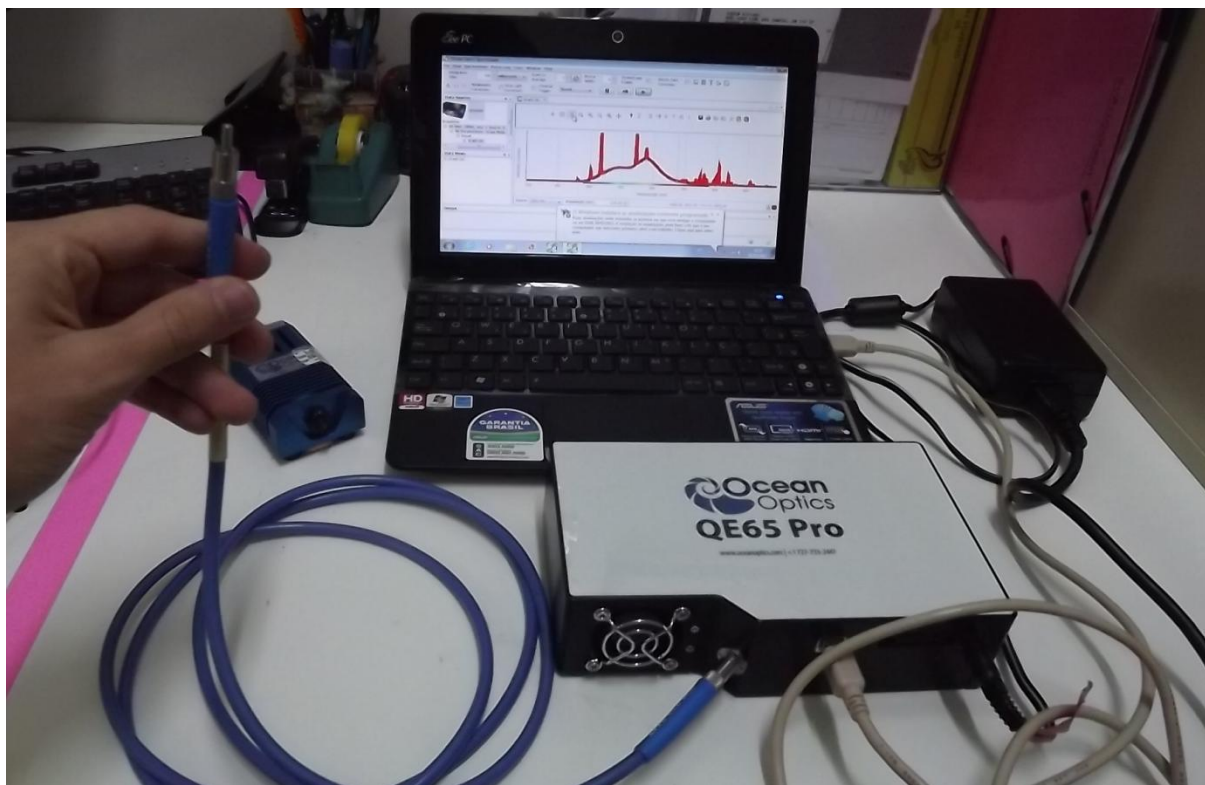


FIGURA 12. Espectrômetro portátil em operação: na mão do operador o sensor; na tela de um computador o programa de operação do equipamento registra o espectro da iluminação em tempo real.

No programa de operação do equipamento, antes da amostragem dos espectros, é necessário o procedimento de obtenção do espectro de referência de uma fonte luminosa para o qual o espectrômetro foi calibrado pelo fabricante. Tendo este já sido amostrado e salvo em arquivo, torna-se possível levar o equipamento a campo sem a necessidade de levar essa fonte de luz para calibração. A fonte de alimentação utilizada em campo para manter o aparelho ligado durante as medições foi um auxiliador de partida veicular modelo JumpStarter-12V da Black&Decker®, ou a própria bateria do veículo Chevrolet S-10 de expedição do projeto.

O principal parâmetro a ser ajustado no software de operação do equipamento durante as tomadas dos espectros é o tempo de integração, pois a exposição do detector deve estar de acordo com os níveis de luminosidade no local. Dessa forma, o tempo de integração deve ser inversamente proporcional à intensidade luminosa que se deseja medir. Durante as medições, sempre que possível, estão sendo utilizado tempo de integração de 100 ms, pois a resposta do espectro medido é dada em tempo real. Quando as intensidades luminosas são baixas, se faz necessário o aumento do tempo de integração. Operando com um tempo de

integração em segundos, ocorre um atraso na resposta, pois é necessário um tempo de aquisição da informação; durante essa aquisição é importante que o sensor esteja firmemente apoiado para não receber informação de outros objetos próximos daquele que se deseja medir.

Em intensidades luminosas que permitiam uma resposta em tempo real, com tempo de integração em 100 ms, foi considerada a média de três varreduras. Esse procedimento foi realizado diretamente pelo programa, quando selecionado 3 *Scans to average*.

Os espectros foram tomados em diferentes ângulos: (1) com o sensor direcionado para a fonte de luz artificial; (2) voltado para o céu e para as fontes naturais como a lua ou o céu a oeste; (3) voltado para a vegetação em que ocorrem os vaga-lumes adultos e (4) voltado para o solo onde as larvas se encontram. Cada espectro amostrado foi salvo em arquivo com um nome que o designa.

Os espectros das fontes e dos ambientes foram varridos entre 199,68 a 998,79nm. Como o espectro da luz visível está na faixa de 450 a 700 nm, para a padronização dos espectros foi realizado corte dos valores abaixo de 450 nm e dos valores acima de 700 nm e, então o espectro foi padronizado em intensidade relativa, também expressa como poder espectral relativo, para tornar possível a comparação com os espectros de bioluminescência das espécies.

#### 4.7. ESPECTROS DE BIOLUMINESCÊNCIA

As medidas de espectro da bioluminescência *in vivo*, foram realizadas em um espectrofluorímetro HITACHI F-4500. O equipamento foi operado em modulo de luminescência com a fonte de excitação fechada, com uma velocidade de varredura de 2400 nm/min entre 450 a 700 nm; a sensibilidade foi ajustada para tensão PMT de 400V e quando necessário, a sensibilidade do aparelho foi aumentada para 950V. Alguns indivíduos coletados foram anestesiados em uma câmara com éter etílico, e com auxílio de seringa hipodérmica tipo-insulina, foi injetado entre 50 a 100 µl de epinefrina (1mg/ml) entre os esternitos dos segmentos abdominais que compõem o órgão luminoso (lanterna abdominal) dos lampirídeos para estimular a emissão de luz constante, e obter um espectro sem artefatos cinéticos. Assim que a emissão de luz estabilizou, o animal foi introduzido em uma cubeta de acrílico

transparente a faixa do visível e então colocada no fluorímetro, de maneira que o abdome do inseto ficasse voltado para a janela de leitura. Para os elaterídeos, foram realizados até dois procedimentos de leitura: um para a tomada dos espectros das lanternas do protórax que é semelhante ao procedimento usado para a obtenção do espectro dos lampirídeos, e outro que consiste na exposição da lanterna abdominal voltada para o sensor de varredura.

Após a obtenção dos espectros de bioluminescência das espécies, foi necessária normalização da escala de intensidade, pois a intensidade de emissão varia de espécime para espécime e, além disso, para fins comparativos com as fontes luminosas e espectros do ambiente é necessário que os dados sejam visualizados em mesma escala.

#### 4.8. QUANTIFICAÇÃO DE VAGA-LUMES PARA ESTUDOS DE SAZONALIDADE E EFEITOS DE POLUIÇÃO LUMINOSA

A quantificação de indivíduos em atividade bioluminescente foi realizada por meio da estimativa do número de indivíduos ativos dentro do campo de visão do observador por um determinado período de tempo, com todas as observações iniciando-se no horário do pôr do sol. Inicialmente esse período compreendia os intervalos de 10 minutos entre as tomadas de medidas das variáveis ambientais. Com o aumento da quantidade de indivíduos observados em campo, o período de tempo em que os indivíduos foram contados teve que ser reduzido para um minuto, com intervalos de 10 minutos para a tomada de medidas das variáveis ambientais. Com o aumento da atividade observada, foram realizados pilotos de métodos para a estimativa de organismos bioluminescentes por meio de imagens fotográficas capturadas pela exposição do sensor de uma câmera deixando-se o obturador aberto por um tempo (KIRTON, NADA, *et al.*, 2012). Entretanto, para os objetivos do presente trabalho não se obteve dados comparáveis por esse método, dado que em ambientes mais iluminados, a luz do ambiente capturada pelo sensor prevalece sobre a luz proveniente dos organismos bioluminescentes.

De 2012 a março de 2013, foram realizadas 46 noites de observações em campo em Sorocaba e na região, com mais nove noites de observações complementares, todas realizadas pelo autor. Foram realizadas coletas por 10 noites em habitats de campo aberto no *Campus* da UFSCar Sorocaba, 14 na área com habitat palustre e de brejo do *Campus*, 12 em áreas de habitats semelhantes ao do local citado anteriormente, localizados a 6 km de

distância daquele, na Chácara Santo Amaro no Jd. Clarice. No município de Votorantim, foram 10 noites de observações na área onde está sendo implantado o Residencial Jequitibá. Essas áreas foram previamente selecionadas como sítios de amostragem no projeto original e são descritas acima em áreas de estudo, a amostragem em outras foi realizada com a finalidade de se obter dados adicionais para o projeto e/ou para o aproveitamento de recursos investidos em coletas para outros objetivos, como os estudos de biodiversidade e filogeografia.

Foram realizadas coletas complementares *ad libitum*, sendo duas noites na Floresta Nacional Ipanema em Iperó, duas noites no Jardim América em Sorocaba, uma no município de Nazaré Paulista, uma em São Miguel Arcanjo, uma em Piedade, uma em Avaré, uma em Barra Bonita, uma em Brotas, uma na área de Cerrado da UNESP em Corumbataí, uma em Cabreúva e uma em Pilar do Sul.

Em seu Trabalho de Conclusão de Curso, o autor realizou coletas sistemáticas em 47 noites nos anos de 2009 e 2010 no *Campus* da UFSCar Sorocaba em três transectos dispostos a diferentes distâncias de fontes de iluminação artificial (SANTOS, 2011). Esses dados também foram utilizados para a caracterização da sazonalidade e para verificar o tempo de atividade das espécies.

Dados de coletas *ad libitum* em seis noites na Fazenda Santana em Sousas (região de Campinas) nos anos de 2002 (1 noite), 2004 (2), 2008 (1), 2009 (1) e 2010 (1); duas noites no Jd. Palmeiras em Campinas nos anos de 1999 (1) e 2009 (1); três noites na Chácara Santo Amaro no Jd. Clarice (área “1”) nos anos de 2008 (1) e 2013(2); três noites na áreas de mata e gramado do Jd. Clarice (área “2” – área de mata remanescente urbana próxima a estrada de terra em área em rápida urbanização) nos anos de 2011 (2) e 2012 (1); uma noite no Jd. América em Sorocaba no ano de 2008, foram obtidos e disponibilizados pelo Prof. Dr. Vadim Viviani.

Três das 10 noites em que foram realizadas coletas na Chácara Santo Amaro no Jd. Clarice e três das 14 noites das coletas realizadas no brejo do *Campus* foram dedicadas à amostragens pelo método descrito a seguir.

#### 4.9. AMOSTRAGENS PARA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LUZ ARTIFICIAL EM POPULAÇÕES DE *Bicellonycha lividipennis* Motschulsky, 1854

##### 4.9.1. Escolha da espécie *Bicellonycha lividipennis* Motschulsky, 1854

Diante das características singulares das espécies, como a sazonalidade e habitats preferenciais, fica difícil estabelecer uma metodologia que seja indicada para se estudar o efeito da iluminação artificial na comunidade de coleópteros bioluminescentes. A partir disso, para testar a hipótese de que a iluminação artificial pode influenciar a abundância de vaga-lumes, focamos neste projeto na espécie mais frequente em áreas de brejo e que ainda estava ativa em fevereiro – *Bicellonycha lividipennis* Motschulsky 1854.

*Bicellonycha lividipennis* é uma espécie comum e abundante de vaga-lumes em áreas úmidas e pantanosas no Brasil, apresentando-se como uma espécie característica próxima de riachos, lagos, pastos e mesmo em áreas cobertas por gramíneas de mais de 1,5 metros de altura (VIVIANI, 2001). Nas áreas investigadas, *B. lividipennis* é uma espécie que apresenta atividade no entorno às áreas cobertas por taboas (*Typha* spp.), geralmente em voo baixo sobre a vegetação de forrageiras como grama-batatais (*Paspalum* spp.), touceiras de *Brachiaria* spp..

As vantagens de se escolher *Bicellonycha lividipennis* para se avaliar o quão boa é como bioindicadora é que além de comum e abundante, trata-se de espécie taxonomicamente bem documentada e estável (COSTA, VANIN e CASARI-CHEN, 1988), com história de vida e ecologia que vem sendo elucidada (VIVIANI, 2001; VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010), e com amostragem de baixo custo, sendo relativamente simples a amostragem pelo método proposto. Essas são características desejáveis para bons bioindicadores (HOLT e MILLER, 2011).

##### 4.9.2. Estimativa de densidade populacional

O objetivo foi comparar a abundância entre duas áreas com características de habitat semelhantes, mas que fosse diferente quanto à condição iluminação artificial. Portanto, para a quantificação da atividade de *B. lividipennis*, foram escolhidas duas áreas de brejo



relativamente semelhantes: área iluminada com luz artificial com lâmpadas de vapor de sódio (área de brejo no Jd. Clarice) e outra desprovida de iluminação artificial direta (brejo do *Campus* da UFSCar). A proximidade entre as áreas de estudo justifica-se para eliminar outros efeitos, como variações climáticas que poderiam ocorrer entre áreas distantes. Dessa maneira, presume-se que somente a iluminação estará variando entre as áreas. Para isso, a iluminação ambiental ficou estabelecida como sendo uma variável categórica com dois níveis: ambiente não iluminado e ambiente iluminado (FIGURA 13).

Foi estabelecida uma linha de 100 metros ao longo da área de ocorrência da espécie, a distância de um metro da borda da área ocupada por taboas. Sobre essa linha, foram sorteados com o auxílio de tabela de números aleatórios, 20 transectos por noite de observação, onde eram sorteados números de 0 a 99, sem reposição, cada número sorteado representava a posição do lado direito do transecto a ser percorrido, sobre a linha de 100 metros. A quantificação dos indivíduos ocorreu por meio da contagem em 20 segundos dentro da largura de dois metros e no percurso do transecto (20 metros), que estava disposto perpendicularmente sobre a linha de 100 metros (FIGURA 13 e FIGURA 14). O intervalo de tempo de 10 minutos entre as contagens nos transectos foi necessário para o deslocamento entre os transectos sorteados e as tomadas de variáveis ambientais. Esse método foi aplicada por 6 noites, sendo aplicada em noites alternadas entre as duas localidades, para reduzir o efeito de variações climáticas que pudessem ocorrer nas noites. Dessa forma, o método foi aplicado por três noites em cada localidade. O método apresentado se enquadra em método de amostragem ecológica conhecido como grid (LUDWIG e REYNOLDS, 1988).

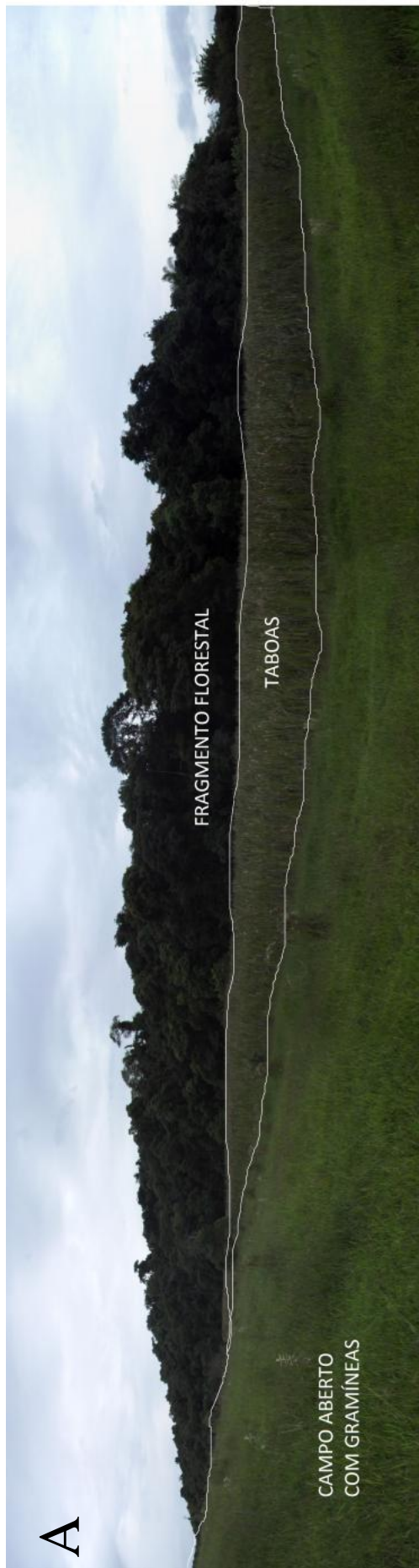


FIGURA 13. Panorâmicas das áreas de estudo onde foram aplicado o método de estimativa descrito (área de ocorrência de *Bicellonycha lividipennis*), mostrando a localização dos cinturões de taboas. (A) área não iluminada; (B) área iluminada, evidenciando a localização das lâmpadas de sódio, que são as fontes de luz direta sobre a área.

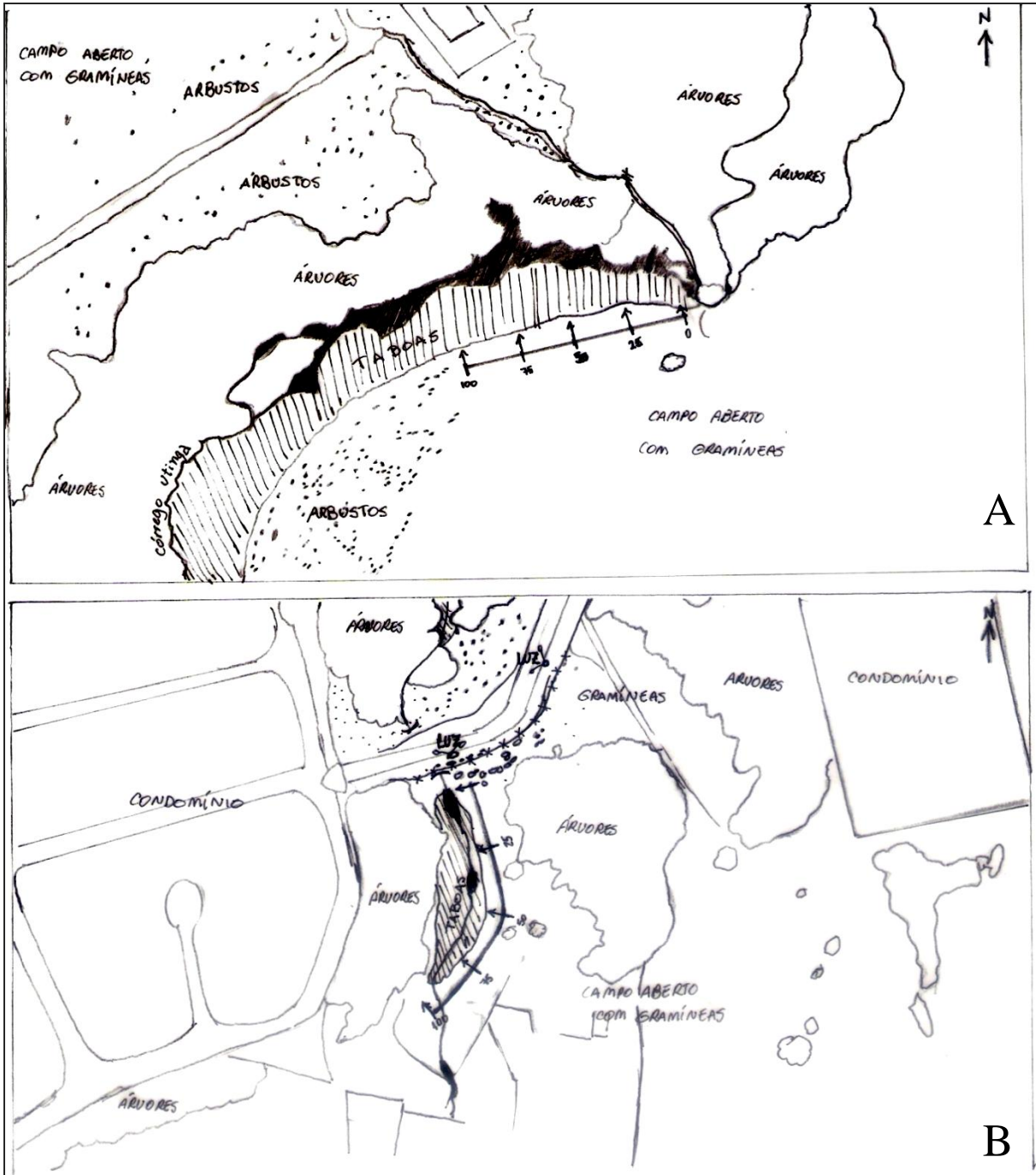


FIGURA 14. Croqui das áreas de estudo onde foi aplicado o método de estimativa descrito evidenciando a localização dos transectos perpendicularmente à linha de 100 metros que é paralela ao limite da zona ocupada por taboas, que é mostrada aqui como a área hachurada. (A) área não iluminada; (B) área iluminada.

## 4.10. ANÁLISE DE DADOS

### 4.10.1. Comparação por similaridade

Ao se verificar a ocorrência de espécies nas séries de levantamentos e na literatura, torna-se possível a realização da análise de agrupamento. Ao se elaborar uma matriz de dados binários para presença e ausência de espécies nas comunidades é possível compará-las. Dessa maneira, a partir dos levantamentos realizados nas regiões de Campinas, Rio Claro, Limeira, Sorocaba e Votorantim (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010), região da Serra do Mar na Estação Biológica de Boracéia (VIVIANI e SANTOS, 2012) e levantamentos realizados no presente trabalho – na Serra de Paranapiacaba e na região de Sorocaba e Votorantim. Um cladograma foi gerado no software PAST (HAMMER, HARPER e RYAN, 2001) a partir da matriz pelo algoritmo Unweighted pair-group average (UPGMA). Para o cálculo da matriz de distância foi utilizando o índice de similaridade de Jaccard.

O coeficiente de Jaccard compara o número de presenças de espécies comuns e o número total de espécies, excluindo o número de ausências entre as áreas. Nesse caso, usa-se o mesmo princípio utilizado na literatura para esse índice porém, ao invés de dados moleculares (MEYER, 2002), aqui são consideradas a presença ou ausência de espécies nas áreas, como originalmente proposto (JACCARD, 1901).

### 4.10.2. Teste de hipótese a partir dos dados para *Bicellonycha lividipennis*

Para a análise os resultados das três noites de coleta de cada local foram agrupados em uma tabela de dois fatores (variáveis), que foram colocados em colunas: o local, que varia em dois níveis (iluminado e não iluminado) e o número de indivíduos que foi detectado dentro de cada percurso de transecto, que totaliza 120 observações, que variou em três níveis nas observações (0, 1 ou 2 indivíduos). As análises foram realizadas com o software livre R v.3.0.1 (R CORE TEAM, 2013) no RStudio (RSTUDIO, 2013).

O objetivo é testar hipótese de diferença no número de indivíduos entre área iluminada e área não iluminada por meio da comparação das médias do número de indivíduos entre as duas áreas (iluminada e não iluminada) com um teste-*t* simples. Para o melhor

entendimento do leitor, os detalhes da análise dos dados são descritos juntamente com os resultados. A partir dos dados obtidos em campo, foi necessário aplicar um método de reamostragem e houve uma readequação na análise.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram investigados dois aspectos principais neste projeto: (1) o efeito da iluminação artificial na diversidade de coleópteros bioluminescentes, especialmente em populações do lampirídeo *Bicellonycha lividipennis*, e (2) a biodiversidade de coleópteros bioluminescentes da região morfoclimática da Serra da Paranapiacaba. Iniciamos com a apresentação dos resultados sobre levantamentos de biodiversidade de vagalumes da Serra da Paranapiacaba, para em seguida focar nos estudos de efeito de poluição luminosa.

### 5.1. RIQUEZA DE ESPÉCIES DA SERRA DE PARANAPIACABA

Trinta e uma espécies de coleópteros bioluminescentes foram encontradas na Serra de Paranapiacaba. Sendo vinte de lampirídeos, quatro de fengodídeos e sete de elaterídeos. Das espécies, 13 foram encontradas em Tapiraí, 13 no Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) e 22 no Parque Estadual Intervales. (Tabelas 2 e 3). Na sequência, fotografias das espécies de lampirídeos (FIGURA 15, FIGURA 16, FIGURA 17) e elaterídeos (**FIGURA 18**) da SA de Paranapiacaba.

**Tabela 2.** Riqueza de espécies de coleópteros bioluminescentes nos locais investigados e porcentagem da fauna total encontrada na Serra de Paranapiacaba.

| Local             | S  | %    |
|-------------------|----|------|
| Tapiraí           | 13 | 41,9 |
| PE Carlos Botelho | 13 | 41,9 |
| PE Intervales     | 22 | 71,0 |

**Tabela 3.** Lista de espécies da Serra da Paranapiacaba e habitats de ocorrência.

| Taxon  | Tapiraí       | PECB         | PE Intervalos | coleção de referência |
|--|---------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Lampyridae   |               |              |               |                       |
| Cratomorphini  |               |              |               |                       |
| <i>Aspisoma lineatum</i> Gyllenhal   |               | ok (4)       |               | Col. MZUSP            |
| <i>Aspisoma physonotum</i> Gorham 1884                                     |               |              | ok (2,3)      | Col. MZUSP            |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub>  | ok (1,2)      |              | ok (1,2)      | Col. V. Viviani       |
| <i>Cratomorphus besckei</i> Olivier 1895                                   | ok (2)        |              | ok (2)        | Col. MZUSP            |
| <i>Cratomorphus giganteus</i> Drury 1782                                   | ok (1)        | ok (1)       | ok (1)        | Col. MZUSP            |
| Photinini  |               |              |               |                       |
| <i>Photinoides penai</i> McDermott 1963                                    | ok* (1,2,3,4) | ok (1,2,3,4) | ok (1,2,3,4)  | Col. MZUSP            |
| <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub>  |               | ok (1)       | ok (1)        | Col. V. Viviani       |
| <i>Photinus</i> sp <sub>9</sub>  | ok (2)        |              |               | Col. V. Viviani       |
| Lucidotini   |               |              |               |                       |
| <i>Ethra</i> aff. <i>maledicta</i> (Oliv. 1888) ou <i>axilaris</i> (Mots.) |               | ok (1)       |               | *                     |
| <i>Ethra</i> aff. <i>adicta</i>  |               |              | ok (1)        | *                     |
| Lamprocerini   |               |              |               |                       |
| <i>Cladodes demoulini</i> Motschulsky 1853                                 |               |              | ok (1)        | Col. MZUSP            |
| <i>Cladodes flabellicornis</i> Motschulsky 1853                            |               | ok (1)       |               | Col. V. Viviani       |
| Amydetini  |               |              |               |                       |
| <i>Amydetes</i> sp.  |               |              | ok (4)        | -                     |
| Photurinae   |               |              |               |                       |
| <i>Bicellonycha</i> sp.  |               | ok (3,4)     |               | -                     |
| <i>Bicellonycha</i> sp <sub>8</sub>  | ok* (3,4)     |              | ok (3,4)      | Col. V. Viviani       |
| <i>Pyrogaster lunifer</i> Eschscholtz 1822                                 |               | ok (1)       |               | Col. V. Viviani       |
| <i>Pyrogaster moestus</i> Germar 1824                                      |               | ok (1,2)     | ok (1,2)      | Col. V. Viviani       |
| <i>Pyrogaster</i> sp <sub>3</sub>  |               |              | ok (1)        | PORTO (2011)          |
| <i>Photuris lugubris</i> Gorham 1881                                       |               | ok (1,2)     | ok (1,2)      | Col. V. Viviani       |
| <i>Photuris</i> sp <sub>7</sub>  |               |              | ok (1)        | Col. V. Viviani       |
| Phengodidae  |               |              |               |                       |
| Mastinocerini  |               |              |               |                       |
| <i>Stenophrixotrix</i> sp <sub>1</sub>                                     | ok (1)        | ok (1)       | ok (1)        | Col. V. Viviani       |
| <i>Brasilocerus</i> sp <sub>1</sub>  | ok (1,2)      |              |               | -                     |
| <i>Phrixotrix hirtus</i> Olivier 1909                                      | ok* (2)       |              |               | Col. V. Viviani       |
| Phengodini   |               |              |               |                       |
| <i>Pseudophengodes</i> sp <sub>1</sub>                                     |               |              | ok (1,2)      | -                     |
| Elateridae   |               |              |               |                       |
| Pyrophorini  |               |              |               |                       |
| <i>Hapsodrilus pyrotis</i> Germar 1841                                     | ok (1)        |              | ok (1)        | Col. MZUSP            |
| <i>Pyroptesis cincticollis</i> Germar 1841                                 | ok (1,3)      |              | ok (1,3)      | Col. MZUSP            |
| <i>Ptesimopsia luculenta</i> Germar 1841                                   |               |              | ok (1,2)      | Col. MZUSP            |
| <i>Pyrearinus brevicollis</i> Eschscholtz 1829                             |               | ok (1)       |               | Col. MZUSP            |
| <i>Pyrearinus candelarius</i> Germar 1841                                  |               |              | ok (1)        | Col. V. Viviani       |
| <i>Pyrearinus micatus</i> Costa 1978                                       | ok (1,2)      |              | ok (1,2)      | Col. V. Viviani       |
| <i>Pyrophorus divergens</i> Eschscholtz 1829                               | ok (1)        | ok (1)       | ok (1)        | Col. V. Viviani       |

Legenda: ok = ocorrência; ok\* = ocorrência mas sem material fixado; (1) = floresta Montana; (2) = floresta úmida; (3) = áreas brejosas; (4) = áreas abertas. \*\* identificação pela chave.

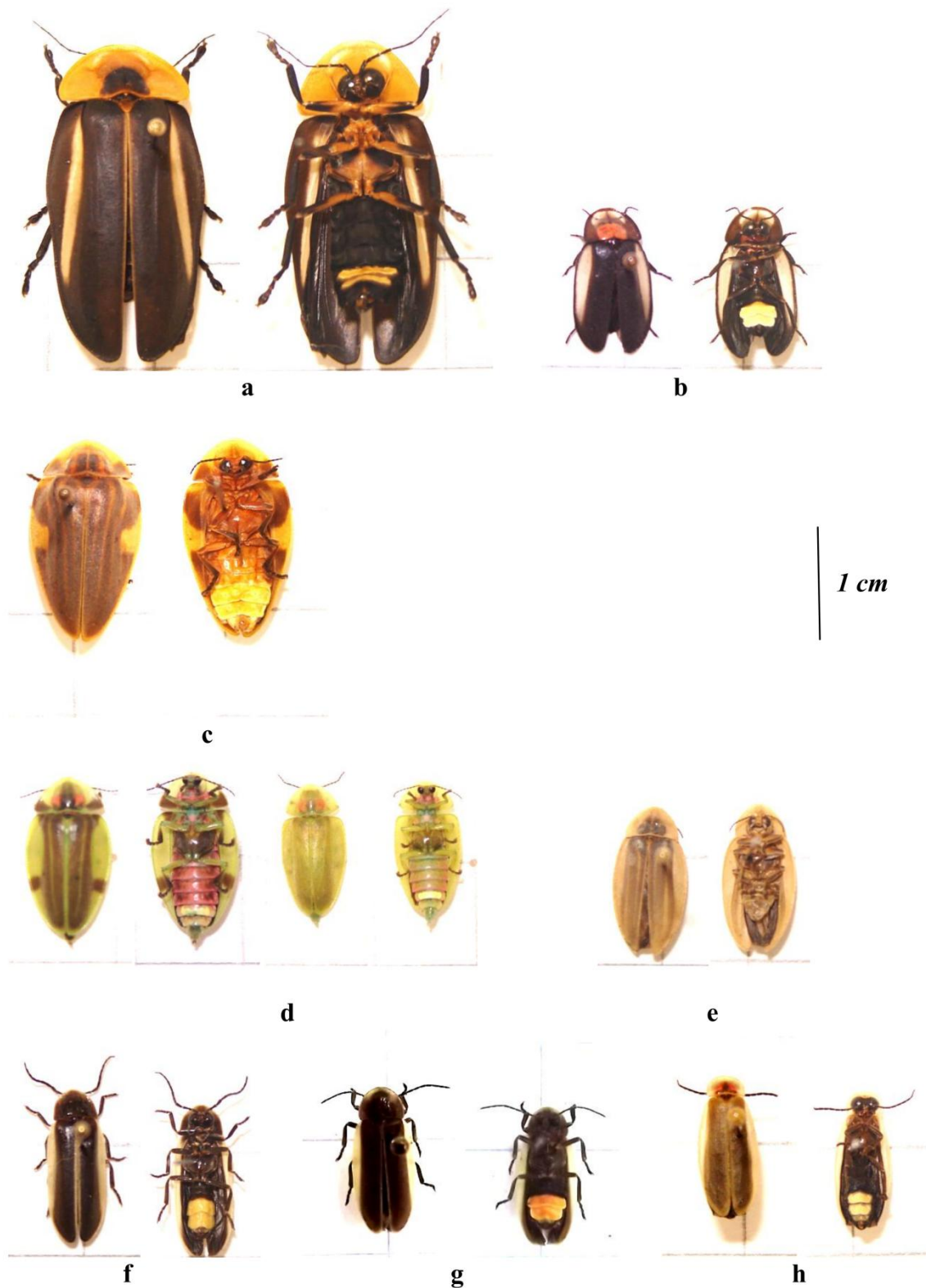


FIGURA 15. Lampyridae (Cratomophini e Photinini) da SA de Paranapiacaba. a) *Cratomorphus giganteus*; b) *Cratomorphus besckei*; c) *Aspisoma lineatum*; d) polimórficos de *Aspisoma physionotum*; e) *Aspisoma* sp2; f) *Photinus* sp1; g) *Photinus* sp9; h) *Photinoides penai*.



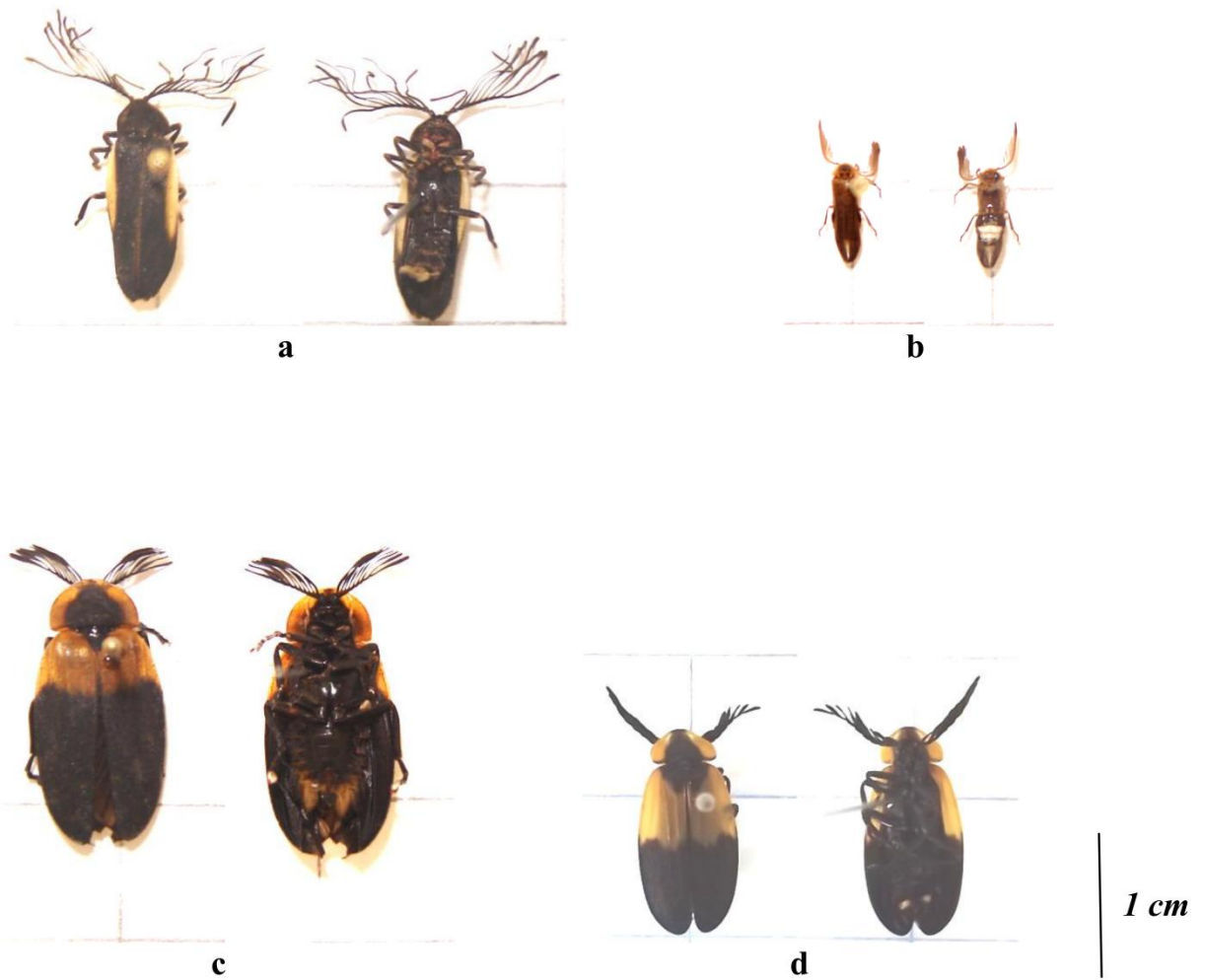


FIGURA 16. Lampyridae (Amydetini) da SA de Paranapiacaba. a) *Aethra* aff. *maledicta* ou *axilaris*; b) *Amydetes* sp; c) *Cladodes flabellicornis*; d) *Cladodes demoulini*.

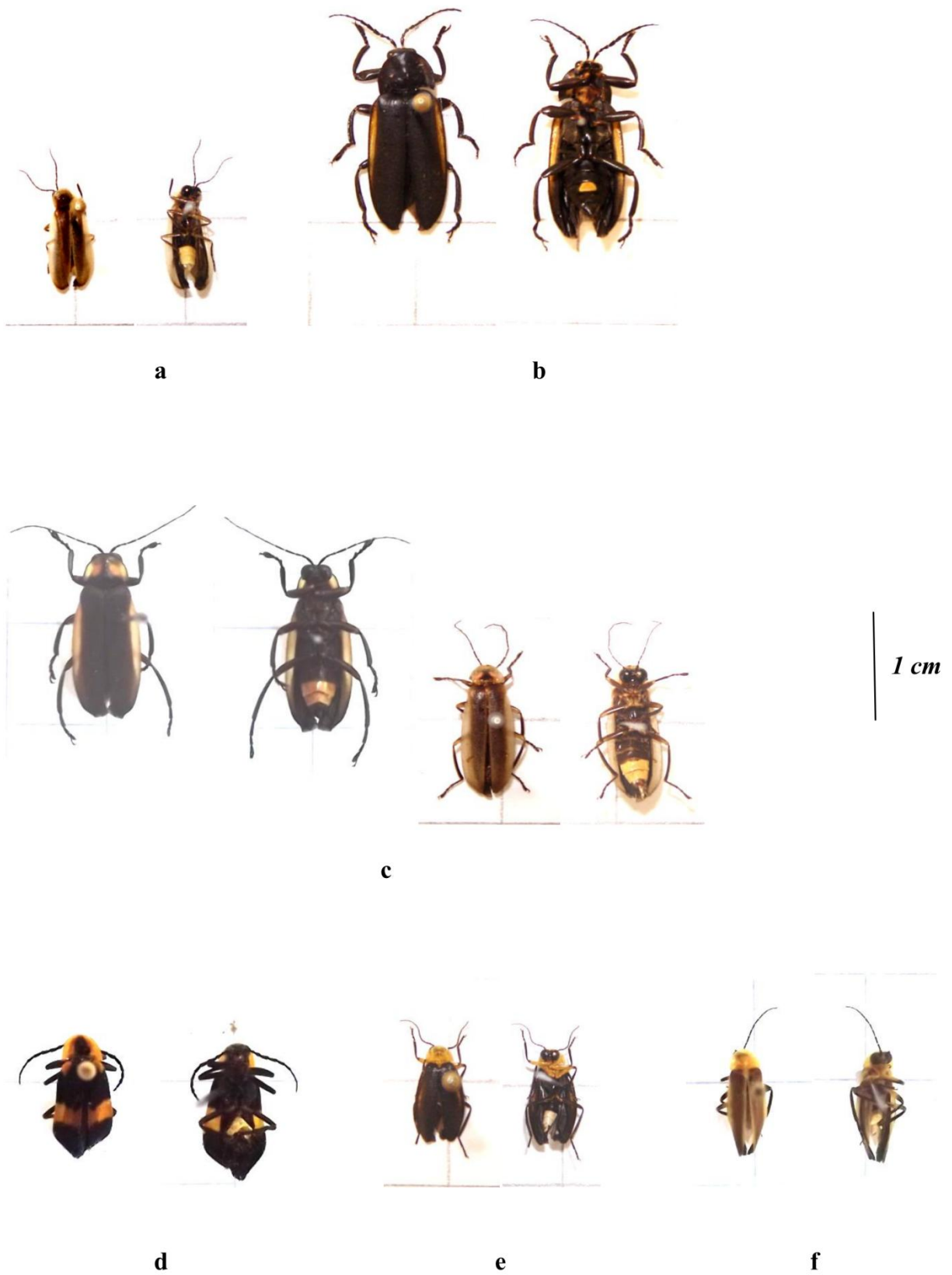


FIGURA 17. Lampyridae (Photurinae) da SA de Paranapiacaba. a) *Bicellonycha* sp<sub>8</sub>; b) *Pyrogaster moestus*; c) *Pyrogaster lunifer*; d) *Pyrogaster* sp<sub>3</sub> (ref. Diego S. Porto); e) *Photuris lugubris*; f) *Photuris* sp<sub>7</sub>.

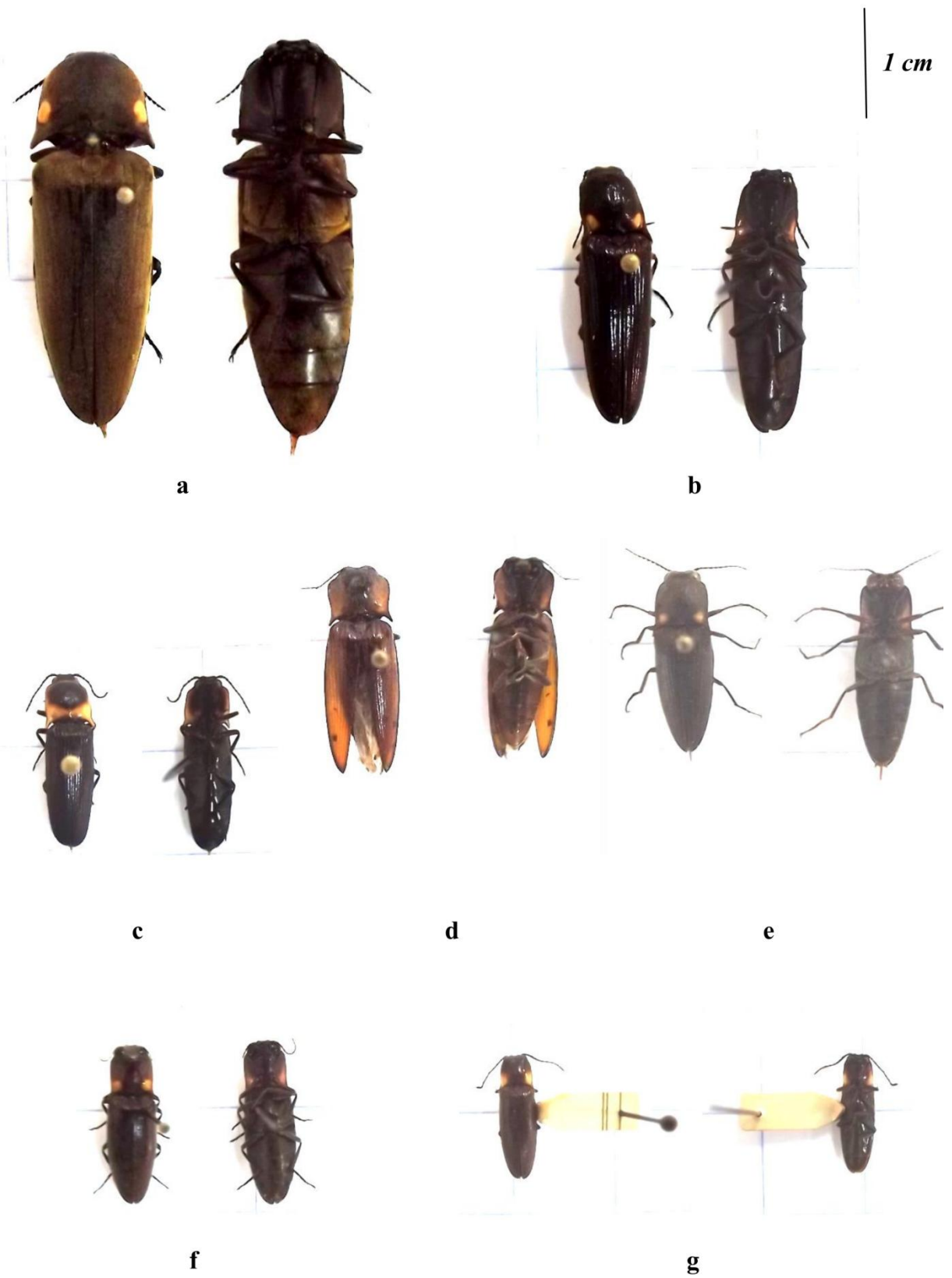


FIGURA 18. Elateridae (Pyrophorini) da SA de Paranapiacaba. a) *Pyrophorus divergens*; b) *Ptesimopsia luculenta*; c) *Ptesimopsia cincticollis*; d) *Pyrearinus candelarius*; e) *Pyrearinus micatus*; f) *Pyrearinus brevicollis*; g) *Hapsodrilus pyrotis*.

### 5.1.1. Lampyridae

Considerando as áreas estudo, no total foram encontradas 20 espécies da família Lampyridae, o que corresponde a 64,5% do total de espécies de besouros bioluminescentes encontradas na Serra de Paranapiacaba. Das 20 espécies, seis puderam ser encontradas em Tapiraí, 10 no PECB e 14 delas foram coletadas e Intervalles (Tabela 4).

**Tabela 4.** Riqueza de espécies e porcentagem em relação aos lampirídeos da Serra de Paranapiacaba.

| Local             | S  | %  |
|-------------------|----|----|
| Tapiraí           | 6  | 30 |
| PE Carlos Botelho | 10 | 50 |
| PE Intervalles    | 14 | 70 |

As espécies de lampirídeos encontradas em Tapiraí, correspondem a 30% das espécies da família e a 19,4% do total de espécies de coleópteros bioluminescentes encontradas na Serra da Paranapiacaba. Em Tapiraí, são cinco as espécies de lampirídeos: *Cratomorphus besckei*, *Photinoides penai*, *Photinus* sp<sub>9</sub>, *Bicellonycha* sp<sub>8</sub> e *Aspisoma* sp<sub>2</sub>.

A riqueza de espécies de lampirídeos encontradas no PECB representa 50% da riqueza total de espécies desta família e 32,3% das espécies de besouros luminosos das áreas investigadas. Totalizam-se 10 espécies encontradas no PECB, são elas: *Aspisoma lineatum*, *Cratomorphus giganteus*, *Photinoides penai*, *Photinus* sp<sub>1</sub>, *Ethra* aff. *malleidicta*, *Cladodes flabelicornis*, *Pyrogaster lunifer*, *Pyrogaster moestus*, *Photuris lugubris* e uma espécie de *Bicellonycha* sp. que não foi identificada a nível específico.

Em Intervalles, foram encontradas 14 espécies de lampirídeos: *Aspisoma physonotum*, *Cratomorphus besckei*, *Cratomorphus giganteus*, *Photinoides jenai*, *Photinus* sp<sub>1</sub>, *Ethra* aff. *adicta*, *Cladodes demoulini*, *Bicellonycha* sp<sub>8</sub>, *Pyrogaster moestus*, *Photuris lugubris*, *Photuris* sp<sub>1</sub>, *Photuris* sp<sub>7</sub>, *Aspisoma* sp<sub>2</sub>, *Pyrogaster* sp<sub>3</sub> descrita no trabalho de Diego Porto (PORTO, 2011) e uma de *Amydetes* sp. não identificada a nível específico. Essas espécies encontradas em Intervalles representam 70% das espécies de lampirídeos e 45,2% das espécies de coleópteros bioluminescentes de Paranapiacaba.

A riqueza de espécies de lampirídeos encontrados foi maior em Intervalles (14 espécies), seguido do PECB (10 espécies) e a menor riqueza foi observada em Tapiraí (seis espécies). A subfamília Photurinae também apresentou a mesma relação de riqueza observada, sendo maior no Intervalles (5), intermediária no PECB (4) e menor em Tapiraí (Figura 19).

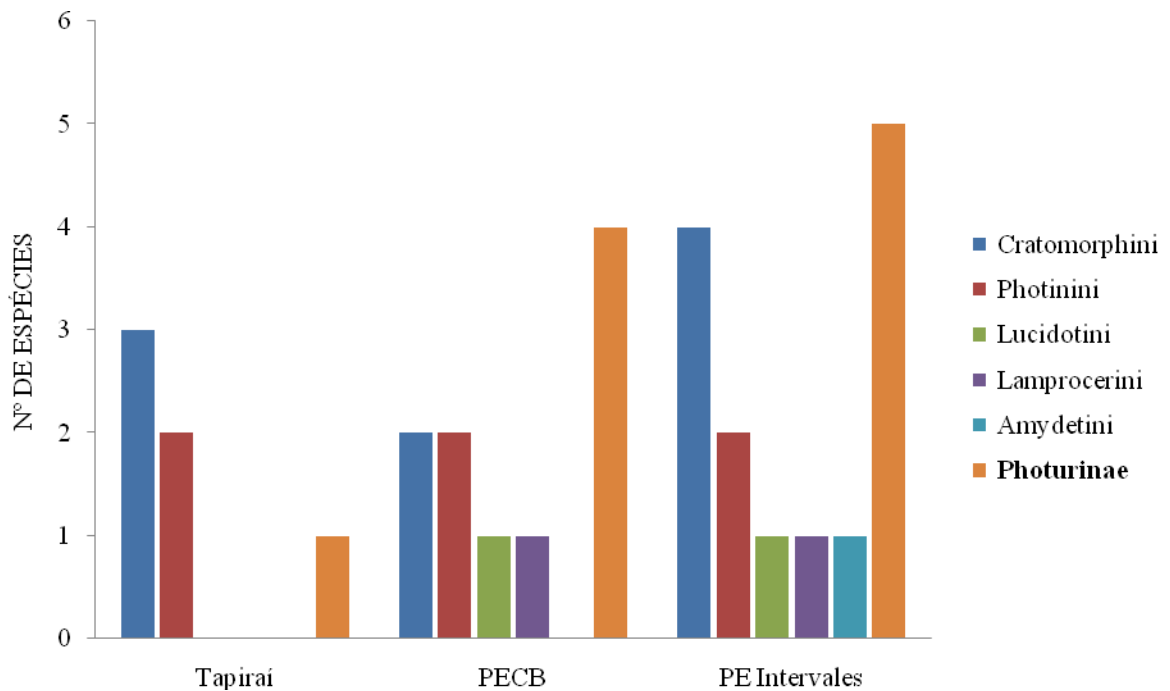


FIGURA 19. Número de espécies de Lampyridae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba.

Das nove espécies de Lampyrinae de Intervalles, quatro pertencem à tribo Cratomorphini, sendo duas de *Cratomorphus* spp. e duas de *Aspisoma* spp.. As duas espécies de Photinini encontradas no P.E. Intervalles são de gêneros diferentes, sendo uma de *Photinus* spp. e outra de *Photinoides* spp.. Ainda quanto às espécies de Lampyrinae observadas em Intervalles, foram encontradas uma pertencente à *Ethra* spp. na tribo Lucidotini, uma à *Cladodes* spp. pertencente a Lamprocerini e uma de *Amydetes* spp. em Amydetini.

Das seis espécies de Lampyrinae que foram encontradas no PECB, duas pertencem a Cratomorphini, sendo uma de *Cratomorphus* spp. e outra de *Aspisoma* spp.. As mesmas duas espécies de Photinini que puderam ser encontradas em Intervalles, também

foram encontradas no PECB. Também foram encontradas no PECB uma espécie de *Ethra* spp. e uma de *Cladodes* spp., porém de espécies diferentes das de Intervales.

Em Tapiraí, há cinco espécies de Lampyrinae: três pertencem a Cratomorphini, (duas de *Cratomorphus* spp. e uma de *Aspisma* spp); duas pertencem a Photinini (uma de *Photinoides* spp. e um *Photinus* spp.). Esse mesmo *Photinoides* spp. também foi encontrado no Intervales e no PECB, já a espécie de *Photinus* spp. encontrada em Tapiraí difere das encontradas em outras áreas.

Da subfamília Photurinae, em Intervales foram encontradas cinco espécies, sendo uma de *Bicellonycha* spp., duas de *Pyrogaster* spp. e duas de *Photuris* spp.. No PECB, foram encontradas quatro espécies de Photurinae: uma espécie de *Bicellonycha* spp., duas de *Pyrogaster* spp. – uma delas comum à Intervales – e uma de *Photuris* spp. que também ocorre no Intervales. Uma única espécie de Photurinae foi encontrado em Tapiraí – uma espécie de *Bicellonycha* spp. que também foi encontrada no P.E. Intervales.

Com isso, a maior riqueza de *taxa* representativos de lampirídeos até o momento na Serra da Paranapiacaba, foi observada no P.E. Intervales. Não somente o número de espécies, mas também o número de gêneros, tribos e subfamílias é maior em relação aos outros locais estudados na Paranapiacaba.

### 5.1.2. Elateridae

Os elaterídeos representam 22,6% dos coleópteros bioluminescentes encontrados na Serra da Paranapiacaba. Das sete espécies coletadas na área, quatro puderam ser encontradas em Tapiraí, duas no PECB e seis em Intervales (Tabela 5).

**Tabela 5.** Riqueza de espécies de elaterídeos bioluminescentes e porcentagem em relação ao total deste grupo na Serra de Paranapiacaba.

| <b>Local</b>      | <b>S</b> | <b>%</b> |
|-------------------|----------|----------|
| Tapiraí           | 4        | 57,1     |
| PE Carlos Botelho | 2        | 28,6     |
| PE Intervales     | 6        | 85,7     |

As quatro espécies de elaterídeos bioluminescentes encontradas em Tapiraí correspondem a 57,1% das espécies desta família e a 12,9% dos coleópteros bioluminescentes encontradas na Serra da Paranapiacaba. As espécies encontradas nessa área foram: *Hapsodrilus pyrotis*, *Pyroptesis cincticollis*, *Pyrearinus micatus* e *Pyrophorus divergens*.

No PECB, as duas espécies de elaterídeos bioluminescentes encontradas foram: *Pyrearinus bevicollis* e *Pyrophorus divergens*. Isto equivale a 28,6% das espécies de elaterídeos e a 6,5% das espécies dos coleópteros bioluminescentes das áreas investigadas.

Seis espécies (85,7%) de elaterídeos luminosos foram encontrados em Intervales, isto é, 19,4% do total dos besouros bioluminescentes da Paranapiacaba. As espécies encontradas em Intervales foram: *Hapsodrilus pyrotis*, *Pyroptesis cincticollis*, *Ptesiomopsia luculenta*, *Pyrearinus candelarius*, *Pyrearinus micatus* e *Pyrophorus divergens*.

Ocorrência de sete espécies, pertencentes a cinco gêneros dentro de Pyrophorini para as áreas de estudo na Serra da Paranapiacaba. A riqueza de espécies de elaterídeos encontrados foi maior em Intervales (seis espécies), seguido de Tapiraí (4 espécies) e a menor riqueza observada para a família Elateridae foi encontrada no PECB (duas espécies) (Figura 20).

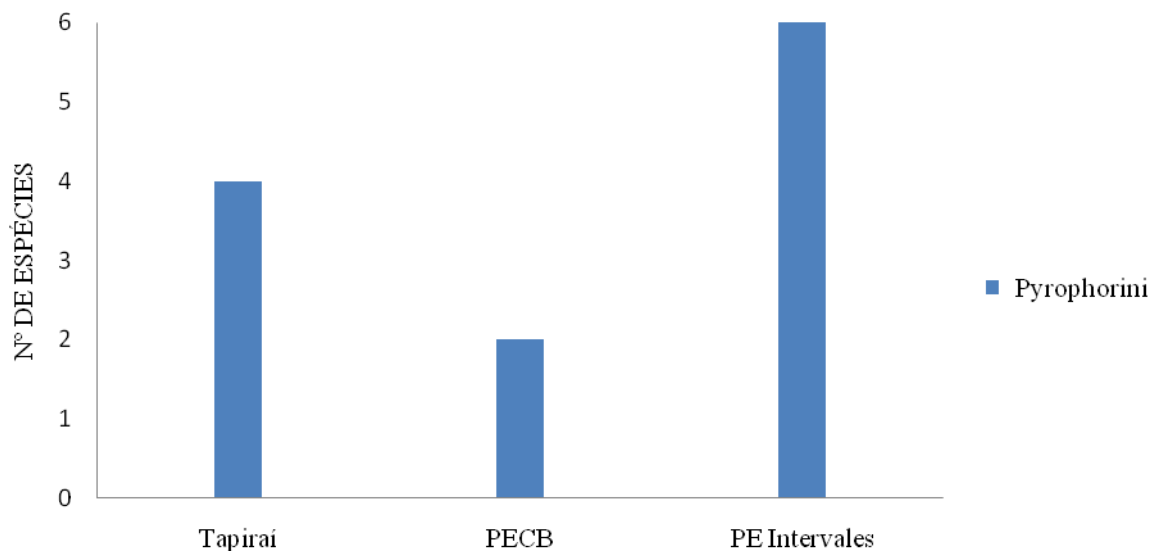


FIGURA 20. Número de espécies de Elateridae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba.

Das sete espécies de elaterídeos bioluminescentes encontrados na Serra da Paranapiacaba, apenas uma não foi observada no P.E. Intervales, o *Pyrearinus brevicolis*. Entretanto, duas outras espécies de *Pyrearinus* foram encontradas nesse local: o *P. candelarius* e o *P. micatus*. Além disso, esse sítio de estudo apresenta uma espécie de cada um dos gêneros encontrados na Paranapiacaba, sendo uma de *Hapsodrilus*, uma de *Ptesimopsia*, uma de *Pyroptesis*, uma de *Pyrophorus*.

Quatro espécies de elaterídeos bioluminescentes foram encontradas em Tapiraí, sendo uma de *Hapsodrilus*, uma de *Pyroptesis*, uma de *Pyrophorus* e uma de *Pyrearinus*. Todas as espécies que ocorreram nesta área nas noites de coleta, também puderam ser encontradas em Intervales.

Duas espécies de elaterídeos luminosos foram encontrados no PECB, as duas pertencem à gêneros distintos (*Pyrearinus* e *Pyrophorus*), elas são comum entre as três áreas –*Pyrophorus divergens* que foi encontrada nas outras áreas também foi coletada neste local. A outra espécie é o *Pyrearinus brevicollis*, que foi encontrada exclusivamente no PECB.

Das áreas estudadas, a que apresentou um maior número de espécies de elaterídeos bioluminescentes, foi o Intervales, com seis espécies; em seguida Tapiraí com quatro espécies; por fim, o PECB com duas espécies. O número de gêneros também foi maior no Intervales, com cinco gêneros, seguido de Tapiraí com quatro e depois pelo PECB com dois.

### 5.1.3. Phengodidae

Das quatro espécies de fengodídeos da Serra de Paranapiacaba, três foram encontradas em Tapiraí, uma no PECB e duas no Intervales.

As espécies encontradas em Tapiraí representam 75% do total de espécies de fengodídeos e aproximadamente 9,7% das espécies de coleópteros bioluminescentes da Serra de Paranapiacaba (Tabela 6). Os fengodídeos encontrados em Tapiraí foram: *Stenophrixotrix* sp<sub>1</sub>, *Brasilocerus* sp<sub>1</sub> e *Phrixotrix hirtus*.

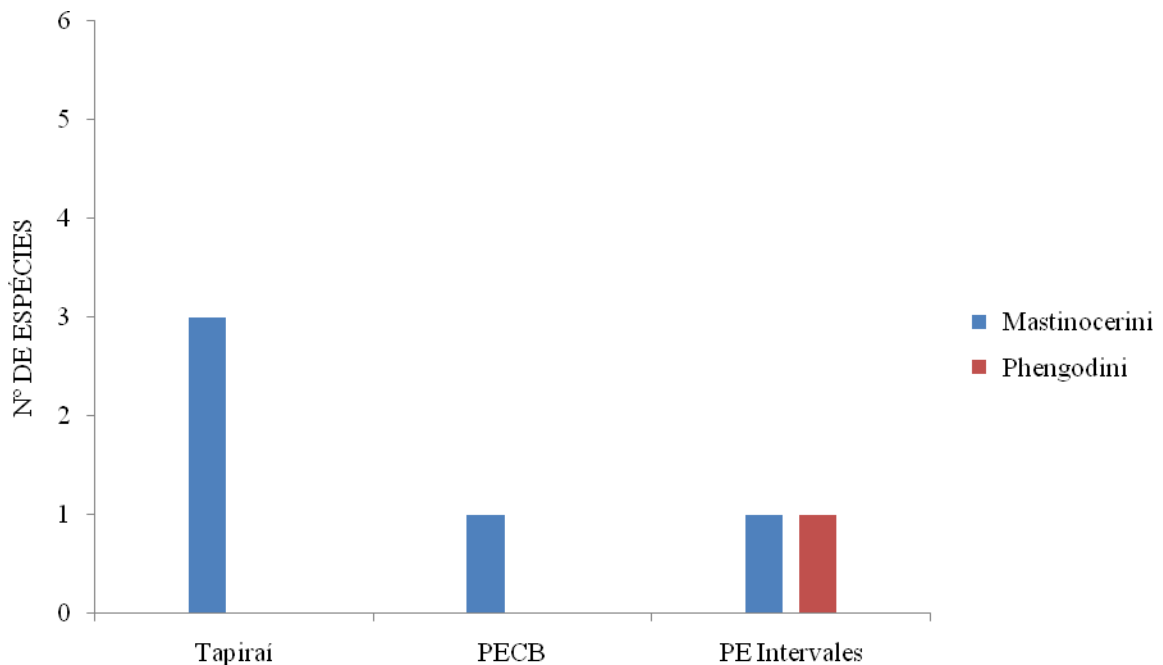


**Tabela 6.** Riqueza de espécies de fengodídeos por localidade e proporção comparada com as espécies de fengodídeos de Paranapiacaba.

| Local             | S | %  |
|-------------------|---|----|
| Tapiraí           | 3 | 75 |
| PE Carlos Botelho | 1 | 25 |
| PE Intervales     | 2 | 50 |

Em Intervales, duas espécies de fengodídeos foram encontradas: *Stenophrixotrix* sp<sub>1</sub> e *Pseudophengodes* sp<sub>1</sub>, ou seja, 50% das espécies de fengodídeos, e o que equivale a 6,5% das espécies de coleópteros bioluminescentes da Paranapiacaba.

Foram encontradas quatro espécies de fengodídeos nas áreas de estudo na Serra da Paranapiacaba, sendo que Tapiraí apresentou a maior riqueza de espécies entre as três áreas de estudo, com três espécies de Mastinocerini; Intervales apresentou duas, sendo uma da tribo Mastinocerini e outra da tribo Phengodini; no PECB apenas uma espécie pertencente à Mastinocerini foi encontrada (Figura 21).



**FIGURA 21.** Número de espécies de Phengodidae nos locais investigados na Serra de Paranapiacaba.

Apesar de fengodídeos serem mais raros que lampirídeos e elaterídeos, a espécie *Stenophrixotrix* sp<sub>1</sub> é relativamente comum. Suas larvas são arbóreas, sendo encontradas nos galhos e folhas em áreas de interior de floresta. Ela foi encontrada nas três localidades investigadas. Entretanto, *Brasilocerus* sp<sub>1</sub> e *Phrixotrix hirtus* são espécies menos comuns e pouco abundantes, que foram encontradas somente no sítio de coleta em Tapiraí. Essas espécies foram encontradas em outra área de Floresta Tropical Atlântica, na E.B. de Boracéia (VIVIANI e SANTOS, 2012) e também em áreas de Floresta Estacional Semidecidual/mata de galeria na Fazenda Santana em Sousas (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010). *Pseudophengodes* sp<sub>1</sub> foi encontrado somente no Intervales. Espécie deste gênero também foi encontrado em áreas de Floresta Estacional Semidecidual na Fazenda Santana (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010). A atribuição dos nomes para *Stenophrixotrix* e *Pseudophengodes* pode estar sujeita a erro, pois a identificação foi baseada exclusivamente na larva, já que foram coletadas somente formas larviformes não sendo possível confirmar a identificação com os machos adultos.

#### 5.1.4. Considerações sobre a diversidade na SA de Paranapiacaba

Apesar da falta de dados de abundância nos levantamentos, é possível partir de um princípio teórico e hierárquico da taxonomia, de que o número de espécies de gêneros, tribos, subfamílias e famílias diferentes representa maior diversidade que a representada pelo mesmo número de espécies congêneres (espécies do mesmo gênero) (GORENSTEIN, 2009). Assim, se aplicarmos essa ideia na interpretação dos dados de riqueza nas áreas, pode se considerar que dentre as três áreas investigadas na Serra da Paranapiacaba, a de Intervales será a mais diversa e Tapiraí a menos diversa para lampirídeos. Da mesma forma, Intervales também é mais diversa para elaterídeos, o PECB a menos diversa. O PECB também é menos diversa para fengodídeos, enquanto a mais diversa é Tapiraí.

Como um padrão que é observado nas comunidades biológicas, em comunidades de organismos bioluminescentes, são poucas espécies abundantes e muitas são as espécies raras (MAGURRAN, 2011), que contam com apenas um indivíduo.

A Serra de Paranapiacaba apresenta-se como a segunda maior riqueza de espécies de coleópteros bioluminescentes no domínio morfoclimático de Floresta Atlântica do

Estado de São Paulo, com 31 espécies, atrás da Estação Biológica de Boracéia (E.B.B.), que concentra a maior riqueza de espécies de insetos bioluminescentes do Brasil, provavelmente no mundo (VIVIANI e SANTOS, 2012). Várias espécies são comuns entre as áreas amostradas na Floresta Tropical Atlântica em: Intervales, PECB, em Tapiraí e na E.B.B.; e em florestas estacionais e em áreas mais urbanizadas do interior do Estado, como: Sorocaba, Rio Claro, Limeira, Campinas e Sousas (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010).

### 5.1.5. Comparação de similaridade com outras comunidades

Pela análise de agrupamento realizada a partir da matriz (ANEXO 1) foi gerado um cladograma (FIGURA 22).

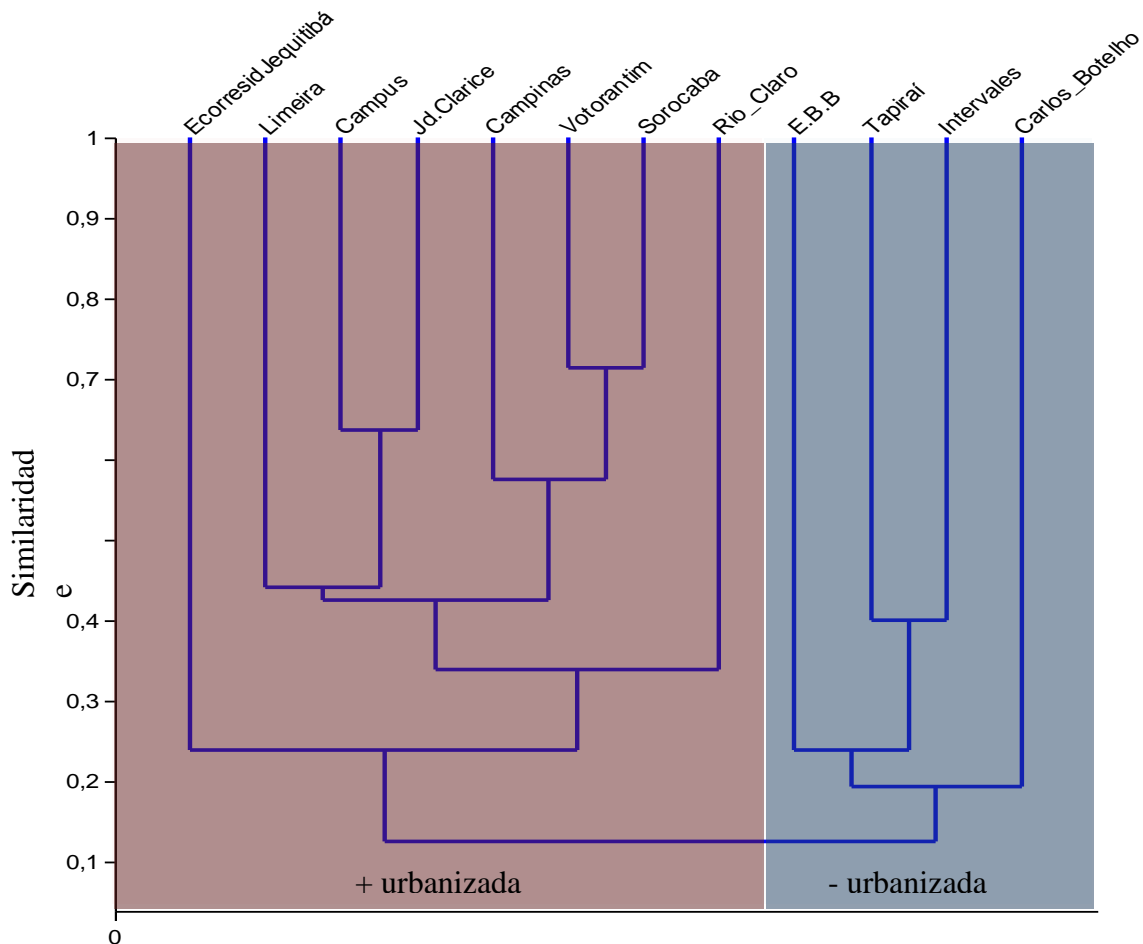


FIGURA 22. Análise de agrupamento pareado pela medida de Similaridade de Jaccard (coeficiente binário) mostrando relação entre as comunidades pela presença e ausência de espécies presente trabalho e nas comunidades amostradas por VIVIANI ET AL. (2010) e VIVIANI; SANTOS (2012).

Pelo cladograma anteriormente apresentado é possível observar uma maior similaridade de fauna compartilhada entre as áreas mais conservadas e as áreas mais urbanizadas. O que suporta a ideia de que em ambientes semelhantes, a fauna tende a ser semelhante. Entretanto, em alguns casos, locais mais próximos geograficamente e aparentemente mais semelhantes entre si mostraram um menor número de espécies comuns, como é o caso das áreas “Ecorresidencial Jequitibás” e “Campus” ou “Campus”, “Jardim Clarice”, “Sorocaba” e “Votorantim”. Isso está relacionado aos métodos empregados: para a quantificação da abundância em anos recentes na região de Sorocaba, onde foram empregados métodos de observação em espaços delimitados dentro das áreas amostradas; nos trabalhos de levantamento foram empregados métodos que maximizassem a eficiência da amostragem de taxa.

Embora os dados tenham sido obtidos sob diferentes objetivos, permite-se uma análise comparativa e cabe aqui a interpretação de que o ambiente mais conservado abriga um maior número de espécies em relação às áreas mais urbanizadas. Mas ainda não é possível afirmar quais os fatores determinantes para a distinção entre essas comunidades, é possível que não sejam somente os fatores: grau de urbanização, iluminação ou fragmentação. As áreas em si possuem características naturais distintas: as áreas mais conservadas estão localizadas na Serra do Mar com fitofisionomia de Mata Atlântica (bioma Floresta Tropical); as áreas onde estão as cidades investigadas estão na Depressão Periférica Paulista, essas são áreas de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica, com presença com fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, campos e de matas de galeria restritas à uma porção da paisagem, onde a maior parte da vegetação natural foi suprimida na conversão da cobertura do solo para o uso na agricultura e para a ocupação urbana.

## 5.2. EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA DIVERSIDADE DE COLEÓPTEROS BIOLUMINESCENTES

Neste item iniciamos com a apresentação de dados de sazonalidade e horários de atividade de vaga-lumes para posteriormente apresentarmos os resultados sobre efeitos da luminosidade ambiental e artificial na diversidade e atividade de vaga-lumes nas áreas estudadas, especialmente em populações de *Bicellonycha lividipennis* Motschulsky 1854 – comparando-se uma em área iluminada com outra área não iluminada. Por fim, são comparados os espectros de iluminação ambiental artificial e natural com os espectros de

bioluminescência para possibilitar inferências sobre o impacto da poluição luminosa nesta espécie de vaga-lume.

### **5.2.1 Sazonalidade das espécies mais comuns encontradas nas áreas investigadas**

Na região sudeste do Brasil, maioria das espécies de coleópteros bioluminescentes esteve ativa na fase adulta no período entre outubro e dezembro como (TABELA 7), ratificando a sazonalidade de várias espécies abordadas em estudos anteriores (VIVIANI, 2001; VIVIANI et al., 2010).

A partir de dados de observações realizadas em Sorocaba entre o período de novembro de 2009 a dezembro de 2010 e em Sorocaba e em outros municípios no Estado de São Paulo entre agosto de 2012 a março de 2013, foi possível observar que a atividade de *Photinus* sp1 se deu entre outubro e janeiro no primeiro período (2009-2010), e entre setembro e março no segundo período de atividade (2012-2013). Assim como em Viviani, Rocha e Hagen (2010), adultos dessa espécie foram observados ativos em campo com maior frequência entre janeiro e fevereiro.

No primeiro período de observação (2009-2010), foi observada atividade de *Amydetes* sp5 só em dezembro; no segundo período (2012-2013), foi observada atividade entre setembro e março. A literatura reporta que a maior frequência da atividade dessa espécie é observada entre setembro a dezembro (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010).

*Aspisoma lineatum* foi observada com atividade entre setembro e março, nos períodos considerados. A literatura aponta que essa é uma das espécies com um amplo período de atividade, que vai de agosto ou setembro até abril (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010).

**Tabela 7.** Período de ocorrência dos adultos de algumas espécies que foram encontradas em Sorocaba nas coletas e segundo a literatura para esta e outras localidades no interior do Estado de São Paulo.

| Espécies                          | Período com atividade |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Referência/coletas  |
|-----------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
|                                   | Jan                   | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |                     |
| <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub>   |                       |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   | √                     | √   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Viviani et al. 2010 |
|                                   | √                     |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | 2009-2010           |
|                                   | √                     | √   | √   |     |     |     |     |     | √   | √   |     | √   | 2012-2013           |
| <i>Amydetes</i> sp <sub>5</sub>   |                       |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | 2009-2010           |
|                                   | √                     | √   | √   |     |     |     |     |     | √   | √   |     |     | 2012-2013           |
| <i>Aspisoma lineatum</i>          | √                     | √   | √   | √   |     |     |     | √   | √   | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   | √                     | √   | √   | √   |     |     |     |     | √   | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   |                       |     | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   |     | 2009-2010           |
|                                   | √                     | √   |     |     |     |     |     |     | √   | √   |     | √   | 2012-2013           |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>4</sub>   |                       |     | √   |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   |                       |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
| <i>Aspisoma neglectum</i>         | √                     | √   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 2012-2013           |
| <i>Aspisoma physionotum</i>       | √                     | √   | √   | √   | √   |     |     | √   | √   | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   |                       |     | √   | √   |     |     |     | √   | √   | √   |     |     | Viviani et al. 2010 |
|                                   |                       | √   | √   | √   |     |     |     | √   | √   | √   |     | √   | 2009-2010           |
|                                   |                       | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   |     |     | 2012-2013           |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub>   |                       |     | √   | √   |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   | √                     | √   | √   | √   |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   | √                     | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   |     |     | 2012-2013           |
| <i>Bicellonycha lividipennis</i>  | √                     | √   | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | Viviani 2001        |
|                                   |                       | √   | √   |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   | √                     | √   | √   |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | 2012-2013           |
| <i>Pyrogaster</i> sp <sub>1</sub> |                       |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani 2001        |
| <i>Pyrogaster moestus</i>         |                       |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   | √                     |     |     |     |     |     |     | √   | √   |     | √   |     | 2009-2010           |
|                                   | √                     | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   |     |     | 2012-2013           |
| <i>Pyrearinus micatus</i>         | √                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | Viviani et al. 2010 |
|                                   | √                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | 2009-2010           |
|                                   | √                     | √   |     |     |     |     |     |     |     | √   | √   | √   | 2012-2013           |

Fonte: Viviani (2001), Viviani; Rocha e Hagen (2010) e dados coletados nos anos de 2009-2010 (SANTOS, 2011) e 2012-2013.

*Aspisoma neglectum*, também referido como *Aspisoma* sp<sub>4</sub> por Viviani, Rocha e Hagen (2010), apresentou atividade restrita ao segundo período de coleta, quando foi constatada atividade somente nos meses de janeiro e fevereiro. Os autores consideraram, a partir de observações de vários anos em várias localidades, que a atividade da espécie ocorreu principalmente entre outubro e dezembro.

*Aspisoma physonotum* apresenta atividade entre agosto e outubro e março a abril. O período de atividade para essa espécie, nos períodos considerados, variou de agosto a março, sendo que a espécie não foi observada em campo nem em novembro e nem em janeiro, tanto nas observações como também mostrado por (VIVIANI; ROCHA; HAGEN., 2010).

A espécie palustre *Aspisoma* sp2 apresenta dois picos de atividade no ano – um entre outubro e dezembro e outro em março e abril; apresentando-se ativa entre outubro e março (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010). A espécie foi observada em atividade nesses mesmos períodos nas observações realizadas.

A literatura reporta atividade de *Bicellonycha lividipennis* no período entre outubro e março. *B. lividipennis* foi observada no segundo período de observações entre outubro e março, ou seja, no mesmo período que consta no registro de sazonalidade mencionado pelos autores. Viviani, Rocha e Hagen (2010) argumentam que essa espécie era, em tempos passados, observada até o mês de fevereiro.

*Pyrogaster moestus* foi detectada em atividade entre agosto e janeiro para o primeiro período de observações e entre outubro e fevereiro no segundo período de observações, intercalando com meses em que essa espécie não foi detectada em atividade nos dois períodos. Trabalho anterior (VIVIANI; ROCHA; HAGEN, 2010) relata que a espécie é comumente encontrada entre outubro e dezembro, mas também que tem sido notada a extensão do período até os meses de fevereiro e março, o que foi possível observar em um dos períodos de observações.

O elaterídeo *Pyrearinus micatus* esteve ativo em campo entre outubro e fevereiro.

Os períodos em que as espécies foram observadas em geral concordam com os resultados da literatura, exceto em alguns casos. Um próximo trabalho pode ainda ser desenvolvido com o objetivo de verificar possível alteração nos padrões sazonais das espécies.

## 5.2.2 Horário de atividade bioluminescente das espécies

Apresentamos os horários das espécies mais comuns encontradas na região de Sorocaba, com melhor ajuste de dados de frequência para as duas espécies mais frequentes—*Bicellonycha lividipennis* e *Photinus* sp<sub>1</sub>, que são também as espécies mais abundantes nas assembleias de coleópteros bioluminescentes nas áreas investigadas.

### 5.2.2.1 Horário de atividade de *Bicellonycha lividipennis*

Indivíduos de *B. lividipennis* puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente. Os primeiros indivíduos da espécie emitindo sinal puderam ser detectados em campo principalmente entre 10 e 20 minutos após o pôr do sol, com pico de atividade em 30 minutos após o pôr do sol e redução do número de indivíduos emitindo bioluminescência logo após esse período até os 100 minutos após o pôr do sol. Embora tenha sido possível constatar extensão da atividade dessa espécie em até 1h20min após o pôr do sol, a frequência dos indivíduos ativos nesse período é baixa (FIGURA 23).



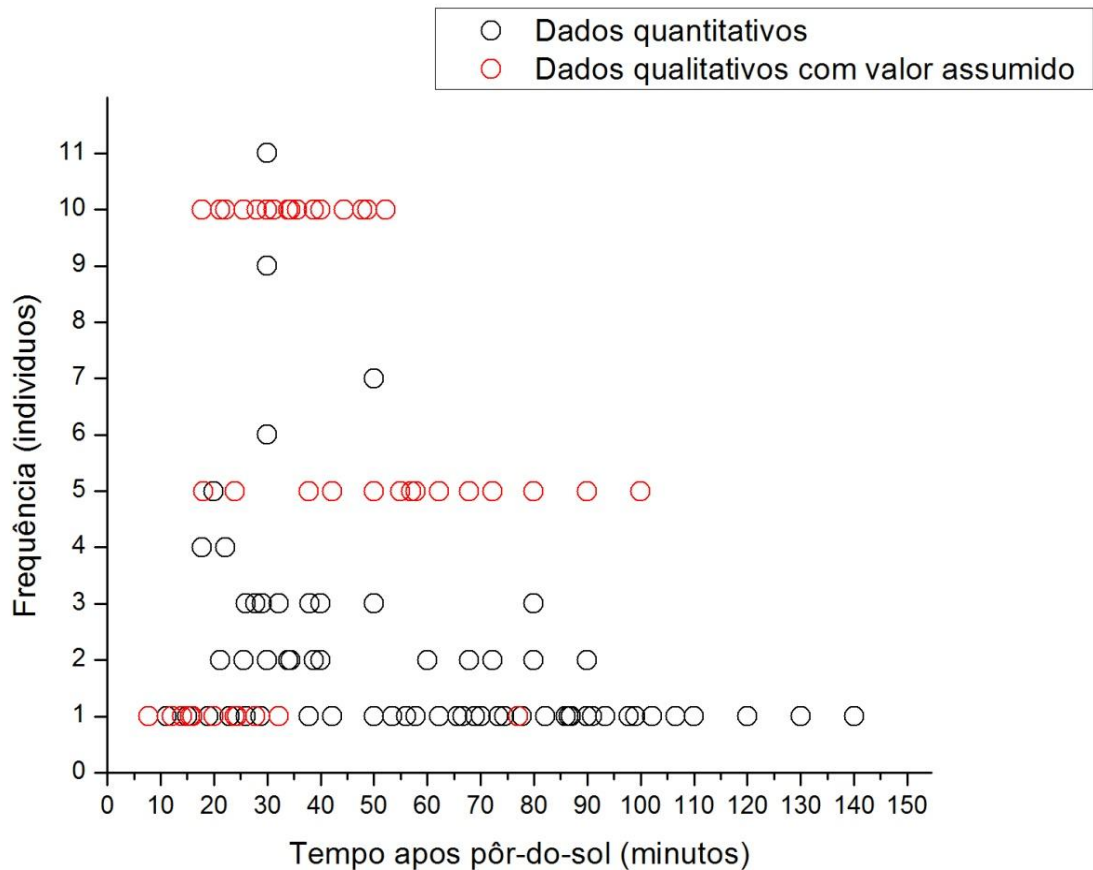


FIGURA 23. Frequência de *Bicellonycha lividipennis* no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie: início/fim = 1; poucas/algumas = 5; muitos/vários = 10.

Através da soma das frequências de indivíduos observados por horário em intervalos de 10 minutos, fica evidente que há um pico de atividade para indivíduos de *Bicellonycha lividipennis* próximo dos 30 minutos após o pôr do sol (FIGURA 24).

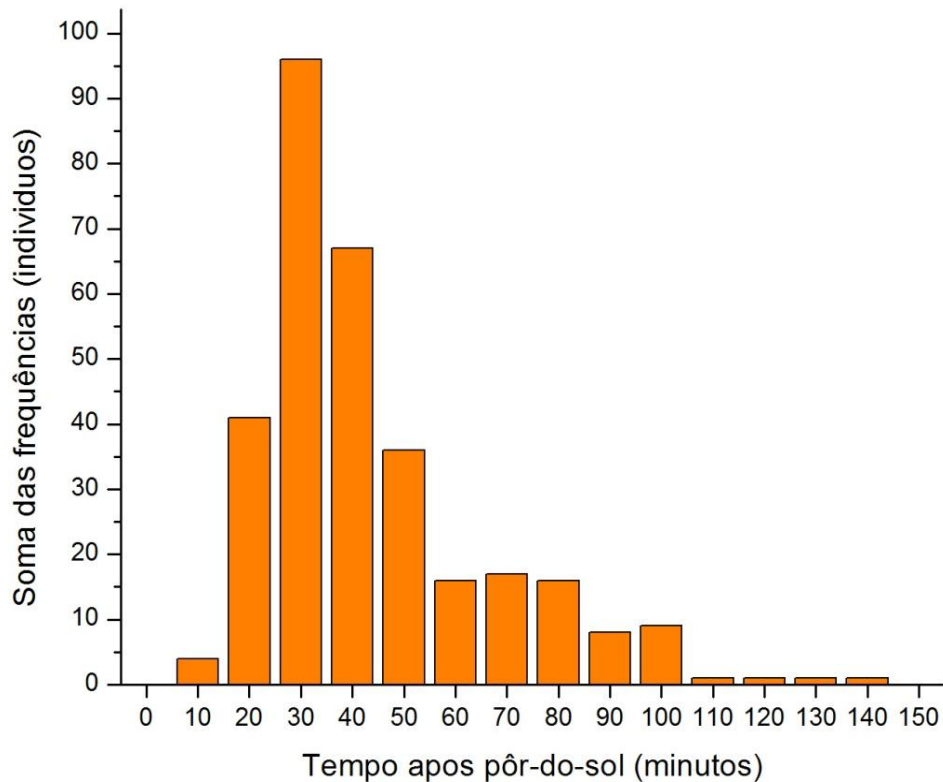


FIGURA 24. Soma das frequências de *Bicellonycha lividipennis* por categoria de tempo de observação em intervalos de 10 minutos. Nota: Os dados que foram somados para gerar as frequências são somente o número de indivíduos que pertencem ao respectivo tempo que é indicado no eixo x. Dado presente em intervalo não foi considerado, pois é observação suplementar à contagem de indivíduos a cada 10 minutos.

*Bicellonycha lividipennis* é a espécie dominante na comunidade de coleópteros bioluminescentes de habitats brejosos e palustres de áreas investigadas no Estado de São Paulo no período de ocorrência. Sendo assim, é uma espécie que apresenta um grande número de observações a partir dos dados obtidos, com isso é notado um pico no tempo de atividade da espécie.

### 5.2.2.2 Horário de atividade de *Bicellonycha ornaticollis*

Indivíduos de *B. ornaticollis* puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente com início aos 30 minutos após o pôr do sol, estendendo até os 70 minutos após o pôr do sol. Não foi possível detectar um pico na atividade dessa espécie, dado que essa espécie foi identificada em atividade em campo em poucas ocasiões (FIGURA 25).

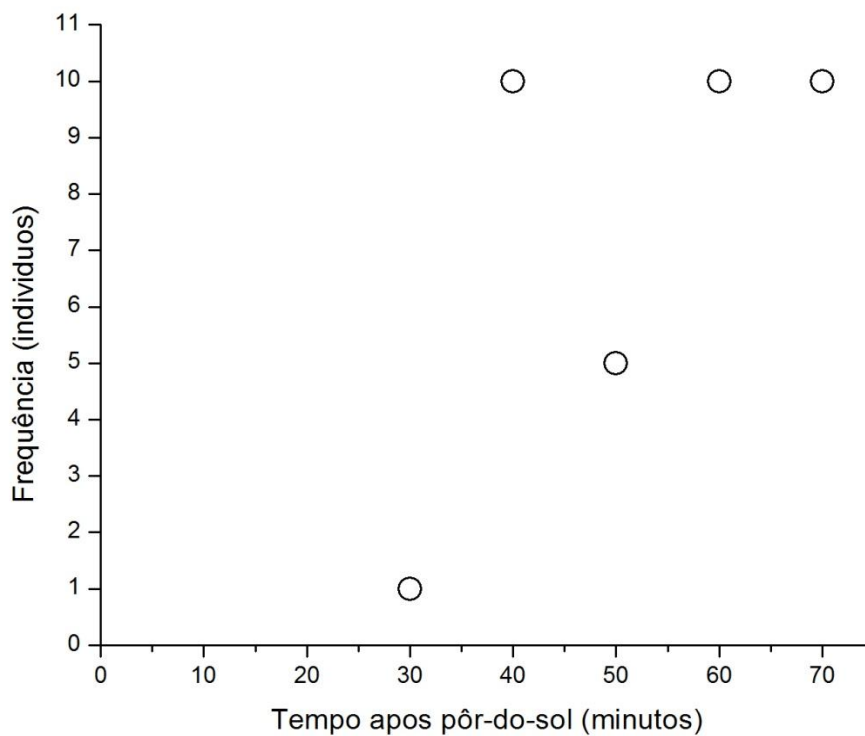


FIGURA 25. Frequência de *Bicellonycha ornaticollis* no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol.

### 5.2.2.3 Horário de atividade de *Pyrogaster moestus*

Indivíduos de *Pyrogaster moestus* puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente entre 30 e 110 minutos após o pôr do sol, sendo mais frequentemente observado entre os 40 e 90 minutos após o pôr do sol. Dado que é uma espécie menos comum e pouco frequente nas comunidades de coleópteros bioluminescentes

em ambientes antropizados, ainda são poucos os dados para deduzir que há um horário de pico de atividade para a espécie (FIGURA 26).

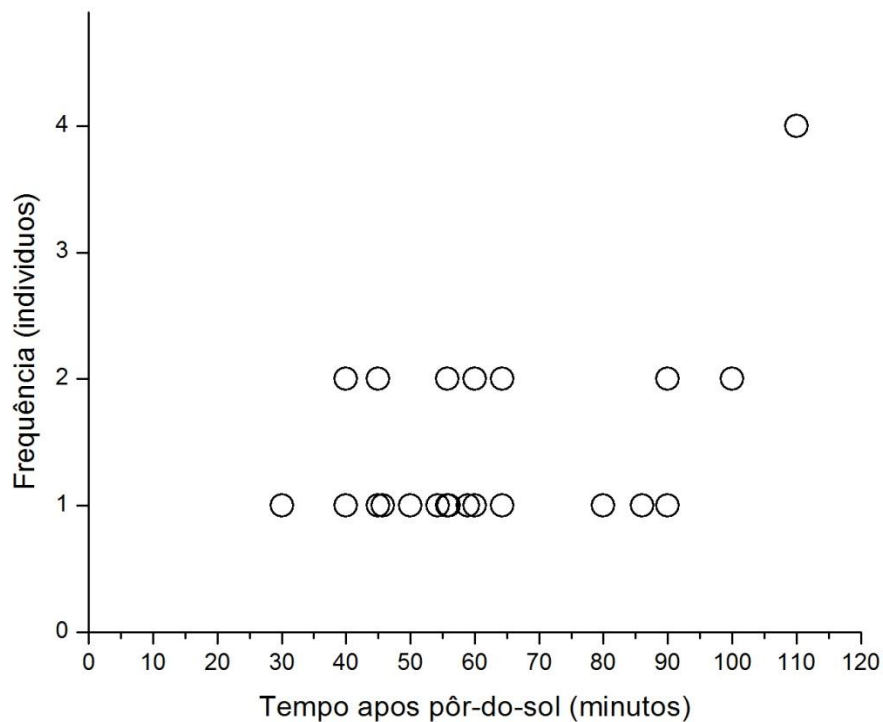


FIGURA 26. Frequência de *Pyrogaster moestus* no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol.

#### 5.2.2.4 Horário de atividade de *Photinus* sp<sub>1</sub>

Indivíduos de *Photinus* sp<sub>1</sub> puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente com início de atividade a partir de 20 minutos após o pôr-do-sol, com pico de atividade entre 50 e 60 minutos após o pôr do sol (FIGURA 27).

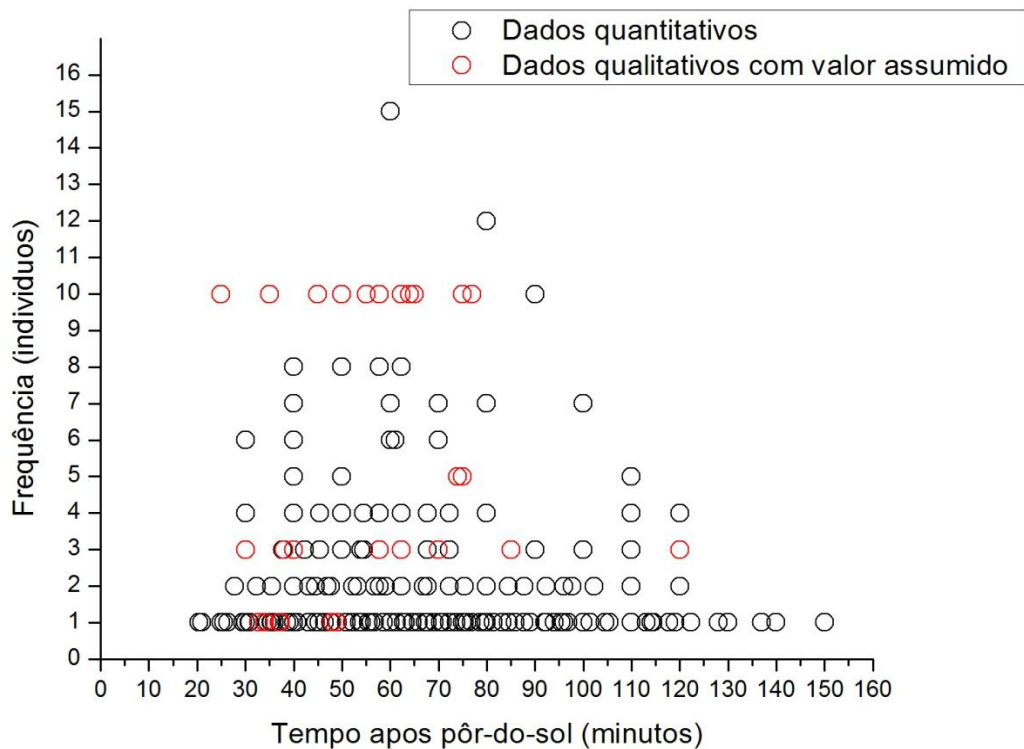


FIGURA 27. Frequência de *Photinus* sp<sub>1</sub> no decorrer do tempo de observação após o pôr do sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: início = 1; poucos/algumas = 3; redução = 5; muitos/vários/>10/pico = 10.

Através da soma das frequências de indivíduos observados por horário em intervalos de 10 minutos, fica evidente que há um pico de atividade para indivíduos de *Photinus* sp<sub>1</sub> próximo dos 50 minutos após o pôr do sol (FIGURA 28).

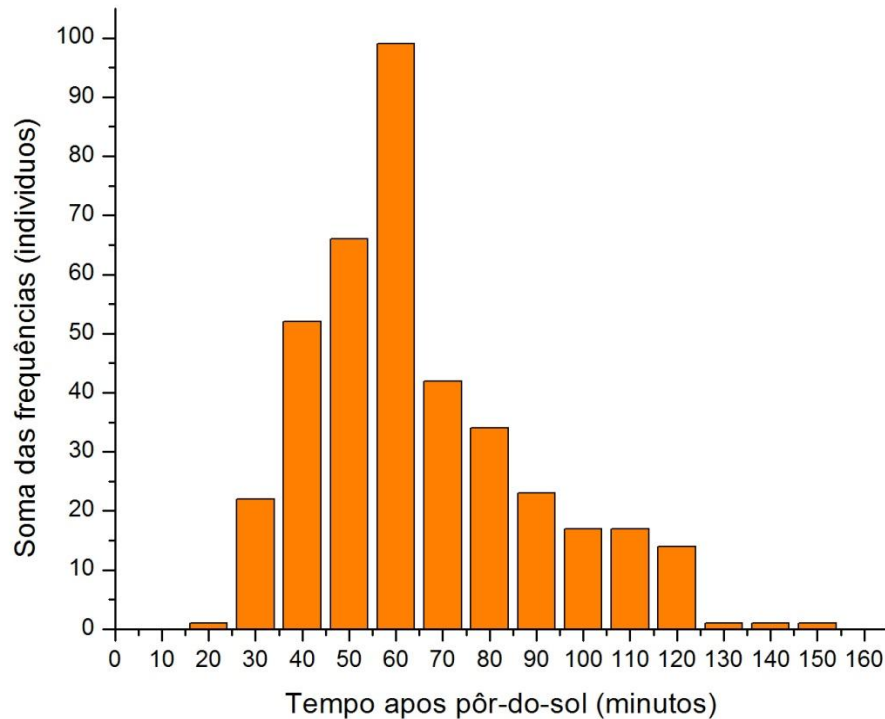


FIGURA 28. Soma das frequências de *Photinus* sp<sub>1</sub> por categoria de tempo de observação em intervalos de 10 minutos. Nota: Os dados que foram somados para gerar as frequências são somente o número de indivíduos que pertencem ao respectivo tempo que é indicado no eixo x, dado presente em intervalo não foi considerado, pois é observação suplementar à contagem de indivíduos a cada 10 minutos.

*Photinus* sp<sub>1</sub>, no seu período de ocorrência, é a espécie dominante na comunidade de coleópteros bioluminescentes de habitats como campo aberto e borda de mata nas áreas investigadas no Estado de São Paulo. Sendo assim, é uma espécie que apresenta um grande número de observações a partir dos dados obtidos, com isso é notado um pico no tempo de atividade da espécie.

#### 5.2.2.5 Horário de atividade de *Aspisma lineatum*

Indivíduos adultos de *A. lineatum* puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente e pela coleta de indivíduos a partir dos 30 a 40 minutos

após o pôr-do-sol até os 80 a 120 minutos após o pôr-do-sol. A partir das observações desses indivíduos em campo, não foi detectado um pico de atividade evidente, mas observada uma maior frequência de indivíduos ativos entre 60 e 80 minutos após o pôr-do-sol, o que pode indicar possível ocorrência de um pico de atividade para essa espécie nesse intervalo (FIGURA 29).

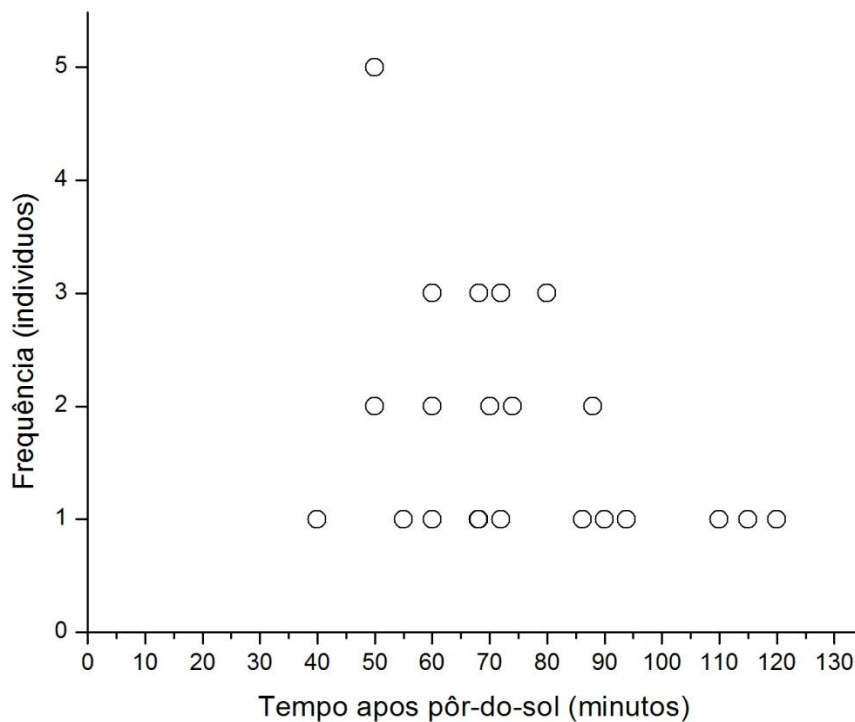


FIGURA 29. Frequência de *Aspisoma lineatum* no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol.

#### 5.2.2.6 Horário de atividade de *Aspisoma physonotum*

Indivíduos de *A. physonotum* puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente entre os 35 e os 130 minutos após o pôr-do-sol. Também não foi detectado pico de atividade para a espécie, dado que o número de constatações para esta espécie foi baixo para se fazer esse tipo de inferência, porém se houver pico de atividade

para essa espécie, ele possivelmente esteja entre 50 e 80 minutos após o pôr-do-sol (FIGURA 30).

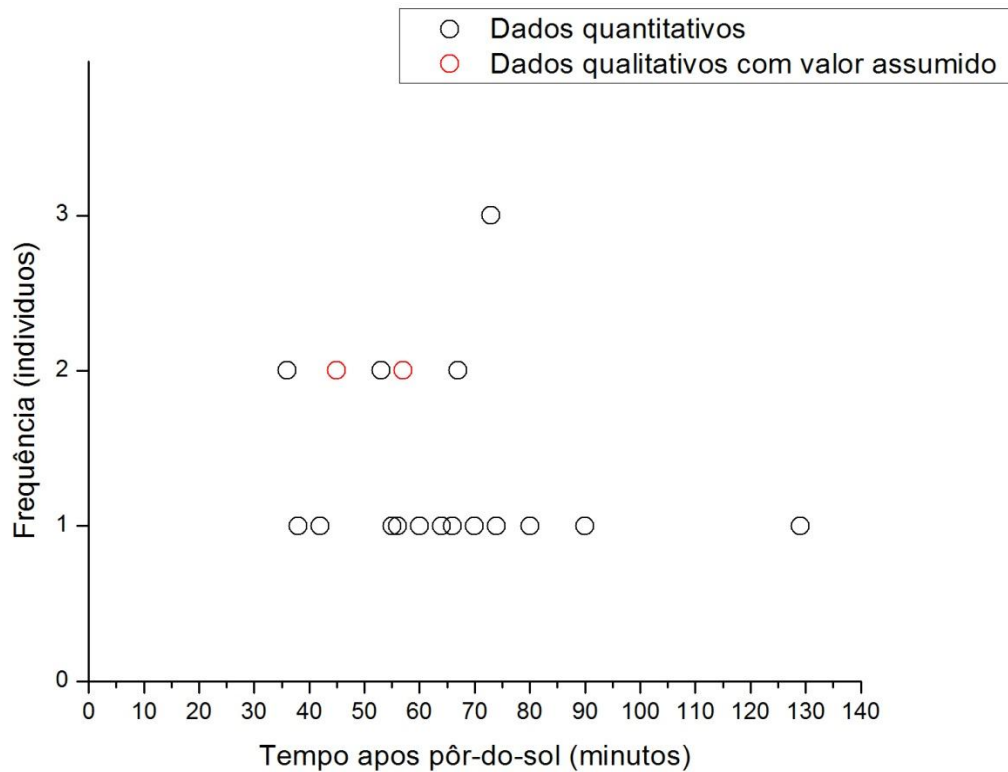


FIGURA 30. Frequência de *Aspisoma physonotum* no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: alguns = 2.

### 5.2.2.7 Horário de atividade de *Aspisoma sp*<sub>2</sub>

Indivíduos de *Aspisoma sp*<sub>2</sub> puderam ser observados em campo por meio da emissão do sinal bioluminescente com início a partir dos 30 minutos após o pôr-do-sol e em atividade até os 100 minutos após o pôr-do-sol. Em uma ocasião, pode ser verificada alta densidade de indivíduos dessa espécie aos 34 minutos após o pôr-do-sol, com redução e fim da atividade até os 70 minutos após o pôr-do-sol, o pico de atividade pode estar compreendido



dentro deste período, os dados provenientes de outras observações suportam que o pico de atividade esteja nesse intervalo (Figura 31).

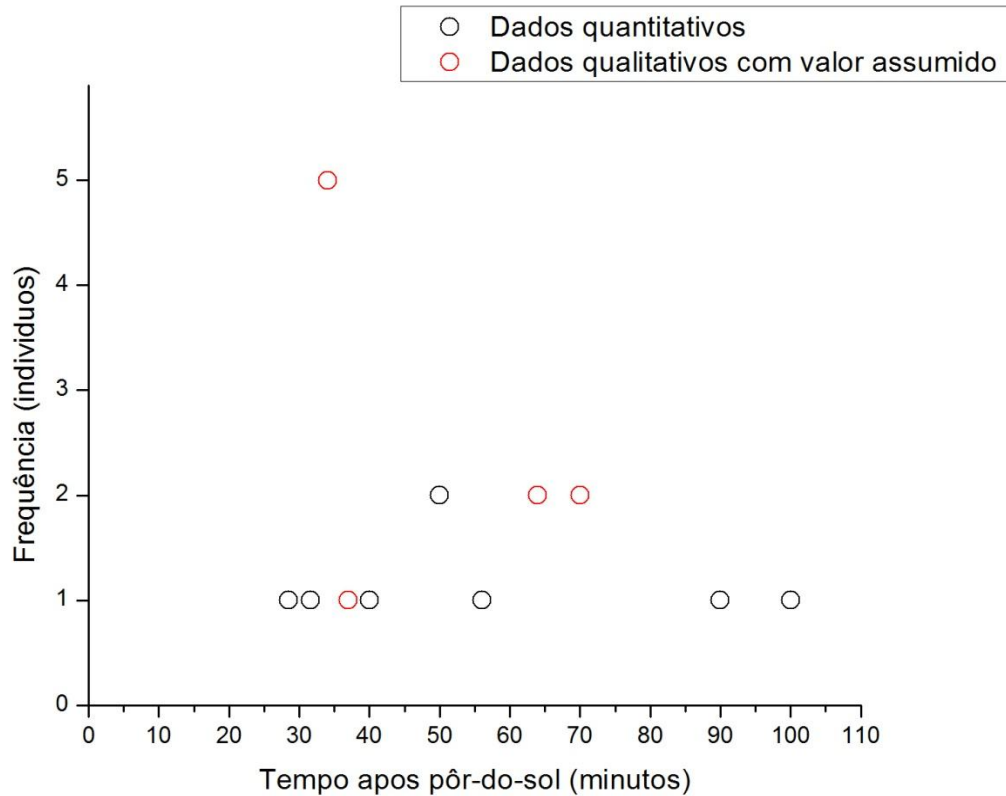


Figura 31. Frequência de *Aspisoma* sp<sub>2</sub> no decorrer do tempo de observação após o pôr-do-sol. Nota: Os dados quantitativos referem-se àqueles que de fato foram contados os seus valores, os dados qualitativos com valores assumidos referem-se aos dados que tiveram valores qualitativos tomados em campo e estimados para a inspeção gráfica; para a referida espécie, os dados qualitativos são representados como igual pelo valor que os seguem, conforme: início = 1; poucos = 2; muitos = 5.

### 5.2.3 Efeitos da iluminação artificial na diversidade e atividade de vaga-lumes

Considerando todos os registros de ocorrência a partir dos dados coletados entre novembro de 2009 e março de 2013, e os dados de máxima iluminação ambiental na área durante a contagem dos organismos, foi possível constatar que dos 1184 registros, 619 apresentavam o valor da intensidade luminosa ambiental registrada. Desses, só em 365 foi possível observar, detectar e quantificar ou estimar a quantidade de indivíduos.

Quando a proporção de indivíduos observados em atividade em campo foi

dada como variável categórica, novos valores foram atribuídos à essas categorias, sendo: 10 para alta, 5 para média, 1 para baixa atividade observada. Apesar de esses valores parecerem arbitrários, o seu uso se justifica por ser um meio para a visualização dos dados de abundância em diferentes intensidades luminosas. Em campo, a alta atividade refere-se a um valor numérico de indivíduos ativos que dificilmente seria possível de se quantificar, dado que a contagem de indivíduos móveis e que lampejam se torna difícil, sendo então necessário estimar valores em categorias. Esses valores atribuídos para os dados categóricos se justificam da seguinte forma: quando o número de indivíduos ativos em um dado momento é muito grande que não é possível de ser contabilizado precisamente, foi estimado o valor de 10 indivíduos, que é um número que julgamos não representar os mesmos indivíduos contados nos 10 minutos seguintes; a baixa atividade refere-se àquela atividade em que poucos indivíduos são observados em campo, geralmente está associada no início ou no final do período em que essas espécies estão ativas, por isso foi atribuído valor 1; a atividade moderada ou média seria uma categoria intermediária entre a alta e a baixa atividade bioluminescente observada, assim foi atribuído valor 5.

A ocorrência de vaga-lumes foi maior em áreas com luminosidade inferior a 1 lux, com 333 registros (91,23%) das 365 constatações. Destes registros, 267 (73,15% do total) ocorreram quando as máximas intensidades luminosas no ambiente não passavam de 0,1 lux. Deles, em 128 registros (35,07% do total) ocorreram vaga-lumes em luminosidades abaixo de 0,01 lux. (FIGURA 32).





FIGURA 33. Adultos de *Bicellonycha lividipennis* em área iluminada no Jd. Clarice. Fonte: Fotografias obtidas por Vadim Viviani. Legenda: (A) o início de atividade com iluminação natural; (B) maior número de indivíduos ativos durante o crepúsculo; (C) atividade mesmo com consideráveis níveis de luz artificial presente no ambiente.

Por outro lado, na área 2 de mata e seus arredores, originalmente haviam sido coletadas e observadas as seguintes espécies: *Pyrophorus divergens*, *Pyrearinus micatus*, *Pyrearinus candellarius*, *Photinus* sp1, *Pyrogaster moestus*, *Aspisoma lineatum* e *Macrolampis* spp.. Entretanto, apesar de não termos uma quantificação mais detalhada do número de indivíduos que ocorreram ali, percebemos que após a instalação de iluminação de sódio nas proximidades houve diminuição da ocorrência da maioria das espécies. Em particular, foi mais nítida a diminuição de *Pyrogaster moestus* que ocorria na borda da mata em maior abundância. Nos anos que antecediam a instalação de iluminação, era possível observar num período de 5 minutos a ocorrência de vários indivíduos (>5) de *B. lividipennis*

nesta área. Entretanto, nos anos de 2011 e 2012 no mesmo período do ano não foram observados mais do que 2 indivíduos no mesmo horário em 5 minutos de observação. Entretanto, ainda é possível encontrar *Photinus* sp1 próximo a mata e *Aspisoma lineatum* no campo próximo, mesmo em pontos sob forte influência da luz de sódio 0,275 a 0,475 lux.

**Faz. Santana – Sousas, Campinas.** As observações neste local foram feitas por duas décadas, e nos últimos dois anos intensificamos as observações num pasto de natureza brejosa às margens do Rio Atibaia. Neste local desde 1986 foi observada a ocorrência de grande população de *Bicellonycha lividipennis*, e também de *Aspisoma lineatum* em menor número, além de outras espécies esporádicas. Entre os anos de 2006 e 2010 foram anualmente feitas coletas e observações, sendo encontradas ambas as espécies em grande número, tanto no estágio larval quanto adulto, principalmente nos meses de janeiro a março para *B. lividipennis*, e fevereiro a abril para *A. lineatum*. Entretanto, em 2010, uma das residências localizadas na frente do pasto instalou uma forte fonte de luz fluorescente, cujo feixe cobriu ampla área do pasto com intensidades variando de 0,06 a 0,4 lux. Nenhuma outra modificação, além da poda periódica das gramíneas foi realizada na área de acordo com os moradores e nossas observações. Notavelmente, nos anos de 2010 a 2013 não foi mais observada ocorrência de adultos de *A. lineatum* e suas larvas no local. No caso de *B. lividipennis*, também houve mudança aparente, com restrição dos adultos em atividade em áreas menos iluminadas, apesar de ocorrerem também em áreas parcialmente iluminadas (FIGURA 34).



FIGURA 34. Adultos de *Bicellonycha lividipennis* em atividade (lampejando) durante o crepúsculo (com alta intensidade de luz ambiental) em área de pasto brejoso na Fazenda Santana. Fonte: Fotografia obtidas por Vadim Viviani.

**Jd. America - Sorocaba.** O local consistia da ampla área de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> com um córrego e ampla área palustre com vegetação consistindo principalmente de *Bracchiaria* spp., e nas regiões mais baixas e próximas dos cursos d'água havia alguns cinturões de *Typha* spp. Apesar de a área ter sido modificada para construção de uma Bacia de Contenção do Córrego Água Vermelha, antes da destruição dos habitats, foram feitas algumas observações, em que foram encontrados indivíduos de *Bicellonycha lividipennis* (FIGURA 35) e de *Aspisoma lineatum* em locais onde a intensidade luminosa chegava a 0,450 lux.



FIGURA 35. Adulto de *Bicellonycha lividipennis* ativo perambulando na área palustre do Jd. América sob efeito de intensa iluminação urbana (principalmente de sódio). Fonte: Fotografia disponibilizada por Vadim Viviani.

Na área ocorreu destruição de um ecossistema, composto por manchas de habitats, que apesar da iluminação pública das vias, da presença do despejo de esgoto, do acúmulo de lixo e de estar localizado em área urbana, ainda eram viáveis para duas espécies de vaga-lumes que ocorriam no local – *Aspisoma lineatum* e *Bicellonycha lividipennis*.

### **Considerações sobre perda e reestabelecimento do habitat no Jd. América**

O que sustenta o argumento de que no local investigado no Jd América havia uma população de cada uma das referidas espécies, é a observação de vários indivíduos de *Bicellonycha lividipennis* (FIGURA 35) com presença de machos e fêmeas emitindo sinal

bioluminescente para a atração sexual. Apesar de *Aspisoma lineatum* ter sido observado em raras ocasiões, em locais favoráveis para a ocorrência dessa espécie ele ocorre naturalmente em baixas densidades, ou seja, é uma espécie generalista em termos de habitat (VIVIANI et al., 2010), portanto comum, porém não abundante nas comunidades.

Em termos de viabilidade de habitats para a ocorrência dessas espécies no local, não há hábitat viável para essas espécies atualmente no que era antes um amplo terreno com vegetação de gramíneas e com presença de cursos d'água e banhados às suas margens. Atualmente a área está em obras (FIGURA 36).



FIGURA 36. Situação do local onde já foram observados *Bicellonycha lividipennis* e *Aspisoma lineatum* no Jd. América. Fonte: Arquivo pessoal. Data: agosto de 2013.



Há ainda habitats viáveis para a ocorrência dessas espécies em áreas próximas às obras, nas áreas que margeiam os córregos Água Vermelha e dois tributários, cujos encontros se dão no terreno e no canteiro central de uma avenida ao lado do terreno. As espécies ocorriam na área, porque havia conectividade entre habitats viáveis, que apresentavam características semelhantes aos de locais onde essas espécies são comumente encontradas. O fluxo de indivíduos entre esses locais está prejudicado atualmente por causa das condições do local.

### 5.3 INFLUÊNCIA DA LUZ ARTIFICIAL NA ATIVIDADE E POPULAÇÕES DA ESPÉCIE PALUSTRE *Bicellonycha lividipennis* Motschulsky 1854

Os dados da amostragem realizada durante o período de atividade de *B. lividipennis* para duas localidades (Tabela 8). Os dados apresentados referem-se a dados observados provenientes de uma amostragem ecológica conhecida como grid (LUDWIG; REYNOLDS, 1988).

**Tabela 8.** Número de indivíduos contados nos transectos em uma área sem iluminação e em uma área iluminada durante seis noites de coleta.

| Transectos | <i>Campus</i> |          |          | Jd Clarice |          |          |
|------------|---------------|----------|----------|------------|----------|----------|
|            | 1ª noite      | 2ª noite | 3ª noite | 1ª noite   | 2ª noite | 3ª noite |
| 1º         | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 2º         | 0             | 0        | 0        | 1          | 0        | 1        |
| 3º         | 0             | 0        | 0        | 1          | 1        | 1        |
| 4º         | 0             | 1        | 2        | 2          | 2        | 1        |
| 5º         | 0             | 0        | 1        | 0          | 1        | 0        |
| 6º         | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 7º         | 0             | 1        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 8º         | 0             | 1        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 9º         | 0             | 1        | 0        | 0          | 1        | 0        |
| 10º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 11º        | 1             | 0        | 0        | 1          | 0        | 0        |
| 12º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 1        |
| 13º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 1        |
| 14º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 1        | 0        |
| 15º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 1        | 0        |
| 16º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 17º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 18º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 19º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |
| 20º        | 0             | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        |

Nota: Nas duas áreas, foram percorridos 120 transectos, sendo 60 na área iluminada e 60 na área sem iluminação.

Na maioria dos transectos, pela metodologia adotada, nenhum indivíduo foi observado durante o seu percurso. Dos 60 percursos na área iluminada, em 45 (75%) não foi detectado qualquer indivíduo em atividade bioluminescente; dos 60 na área não iluminada, em 53 (88,33%) não foi detectada atividade bioluminescente.

Foram 13 (21,67%) os percursos de transectos na área iluminada e seis (10%) na área não iluminada que contaram com a presença de apenas um indivíduo. Na área iluminada foram dois (3,33%) os percursos em que foram observados dois indivíduos; na área não iluminada foram detectados dois indivíduos em um (1,67%) dos percursos.

Inicialmente, o objetivo era testar hipótese de diferença no número de indivíduos entre área iluminada e área não iluminada por meio da comparação das médias do

número de indivíduos entre as duas áreas (iluminada e não iluminada) com um teste-*t* simples.

A partir dos resultados obtidos no campo, foram muitos os valores de 0, alguns de 1 e poucos de 2 ou 3 indivíduos observados nos transectos, não sendo possível aplicar um teste paramétrico para esse conjunto de dados, pois não há uma distribuição normal desses dados e as variâncias não são homogêneas (FIGURA 37).

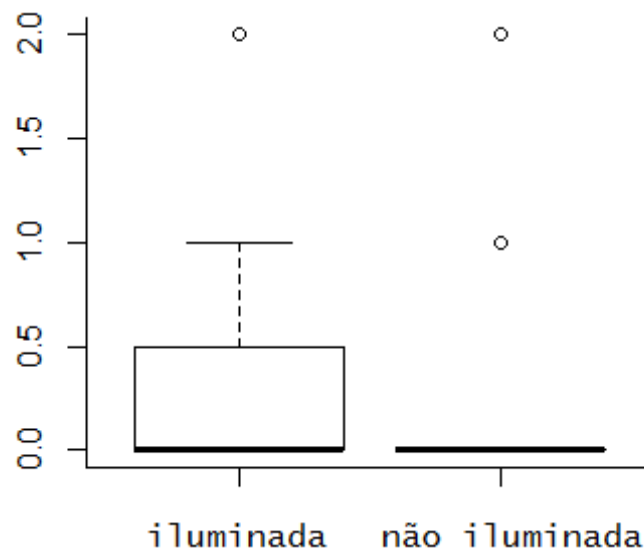


FIGURA 37. Boxplot do número de indivíduos de *Bicellonycha lividipennis* observados pelo método para a comparação da abundância em relação ao fator luz artificial. Legenda: “iluminada” refere-se à área de brejo na Chácara Santo Amaro, no Jd. Clarice; “não iluminada” refere-se à área de brejo no *Campus* da UFSCar Sorocaba.

Há forte evidência de não-normalidade devido aos muitos valores de zero. Como resultado disso, foi realizado um teste de aleatoriedade em que a distribuição-*t* é gerada a partir das amostras. Neste tipo de teste, os níveis dos fatores são repetidamente embaralhados e são produzidas probabilidades para as estatísticas do teste. O que é analisado é se os padrões observados na amostra poderiam ter ocorrido ao acaso caso sejam pertencentes às mesmas populações estatísticas (LOGAN, 2010).

Seguindo as etapas do teste adotado, o valor de *t*, que é a estatística do teste, é calculado para o conjunto de dados, o valor de *t* encontrado ( $t=1,7808$ ;  $gl=108,924$ ;  $p=0,0773$ ). Este seria o valor do teste assumindo que os dados estivessem normalmente distribuídos, o que não é o caso, mas esse valor de *t* é importante, pois é posteriormente

comparado com os valores gerados por aleatorização.

Foi definida uma estatística para ser gerada sua distribuição por randomização – a estatística- $t$  (sem reposição); posteriormente foi definido como os dados deveriam ser randomizados ou aleatoriamente reordenados dentro de cada classe em que cada observação pertencia; a seguir foi realizada reamostragem por *bootstrap* (CANTY; RIPLEY, 2013) para randomizar 5000 vezes, conforme Logan (2010). Por fim, foi examinada a distribuição das estatísticas- $t$  geradas a partir do processo de randomização (FIGURA 38).

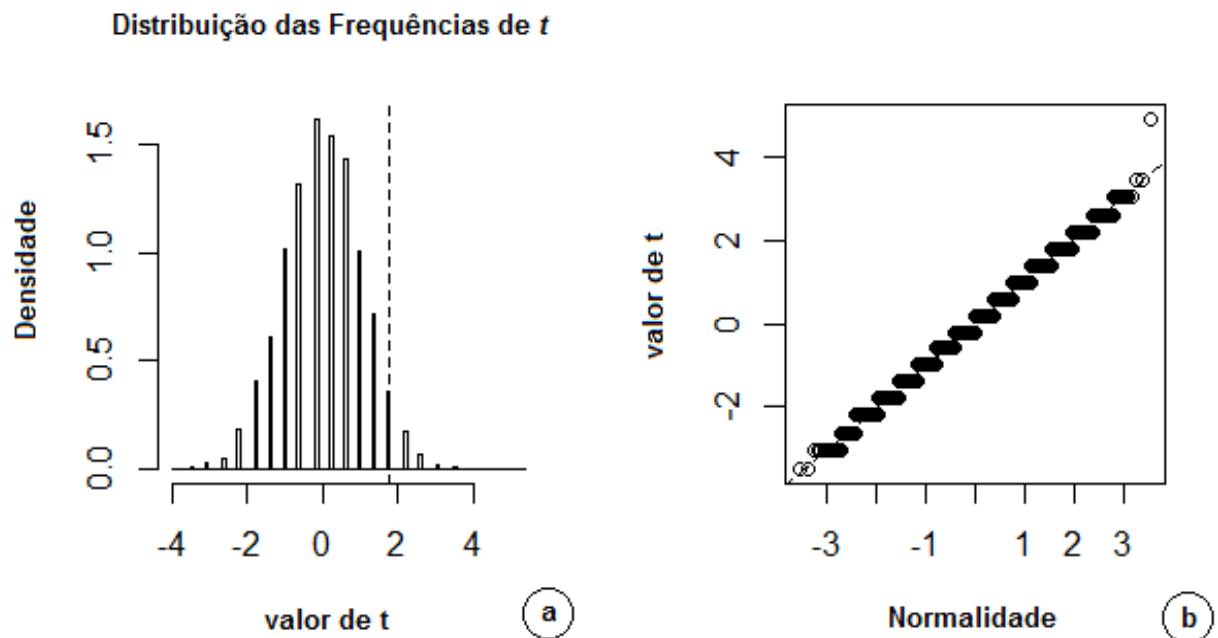


FIGURA 38. Gráfico das estatísticas- $t$  geradas pelo processo de aleatorização (a); gráfico de quantis da distribuição normal pelo valor de  $t$  para verificação da normalidade para as estatísticas geradas por aleatorização. Legenda: a linha tracejada em 'a' corresponde a 5% da distribuição dos valores de  $t$ . Nota: a distribuição  $t$  está centrada ao redor de 0, o valor de  $t$  positivo corresponde ao valor de  $t$  negativo. O que é considerado na análise é a magnitude de  $t$ , não o sinal.

Foi calculado o número de possíveis valores de  $t$  maiores ou iguais ao valor de  $t$  observado (mais esse valor de  $t$  observado) e isso é expresso como porcentagem de um número de aleatorizações realizadas. Dessa forma, a partir da distribuição nula gerada com os dados para possíveis valores de  $t$  ao acaso, e após um teste- $t$  ser aplicado sobre essa distribuição (FIGURA 34), esse valor de  $t$  obtido foi comparado com aquele valor de  $t$  encontrado anteriormente para verificar a probabilidade de ele ter sido ou não obtido ao acaso.

Dessa maneira é verificado se há diferença entre as duas condições para o desenho experimental. Como resultado dessa análise, obteve-se um valor de  $p$  não significativo ( $t=1,780787$ ,  $R=5000$ ,  $P=0,059988$ ), considerando o nível descritivo de 5%. Nota-se que o valor de  $p$  encontrado para esse teste pode variar após outras vezes em que a análise foi rodada, mas em 30 vezes em que análise foi rodada o valor de  $P$  foi em todos os casos maior que 0,05 ( $\bar{x} = 0,05795144 \pm 0,00373293$ ).

Apesar de o valor de  $P$  encontrado ser não significativo, isso não implica em que a hipótese nula de que não há diferença no número de *B. lividipennis* entre uma área iluminada e uma área não iluminada seja verdadeira, mas que a partir dos dados coletados pelo desenho amostral empregado e naquele período do ano, as evidências não são suficientes para rejeitá-la. Para mais detalhes da análise, consultar o script (APÊNDICE-A).

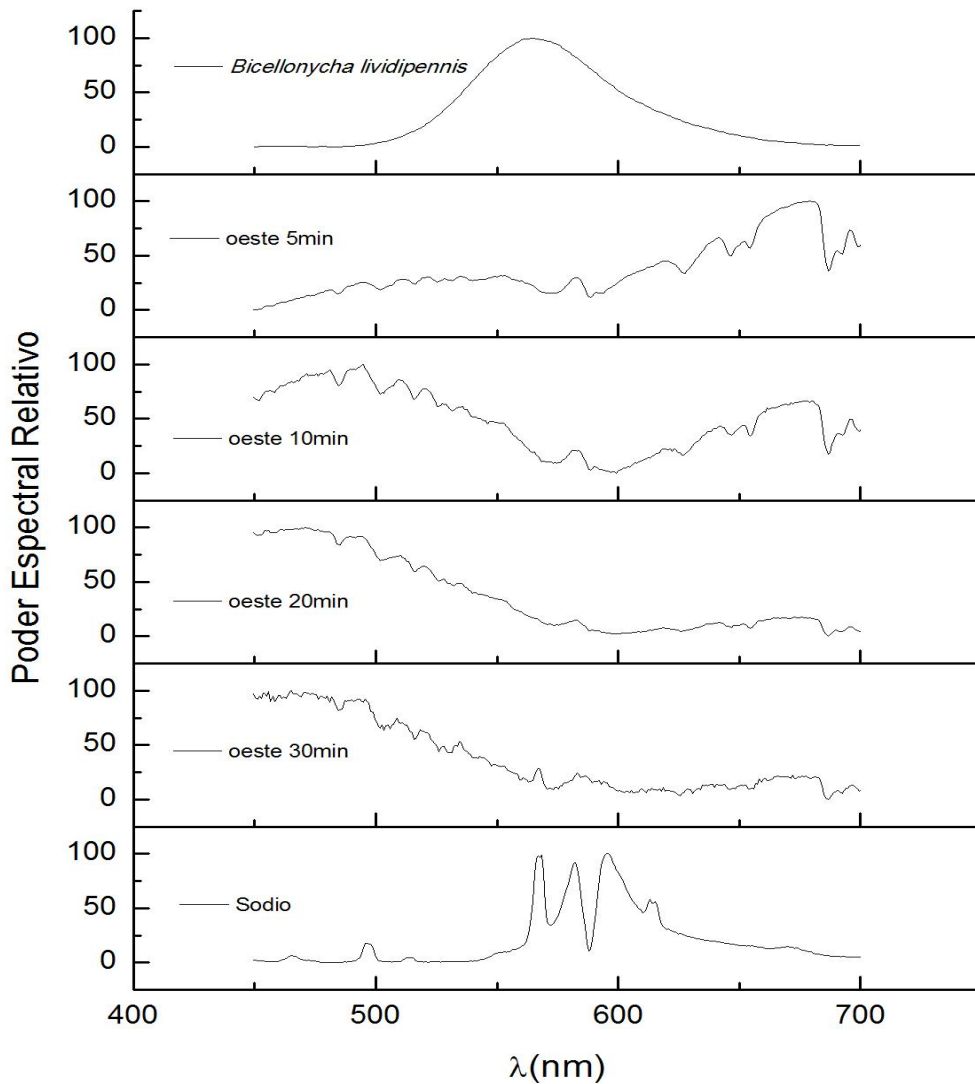
Do exposto, a interpretação cabível aos dados obtidos e analisados para as densidades de *Bicellonycha lividipennis* para comparar uma área iluminada por luz de sódio com outra não iluminada é que a ocorrência da iluminação por esse tipo específico de fonte luminosa não afeta a ocorrência dessa espécie em áreas em que elas podem ocorrer. Observações complementares em outras áreas onde a espécie foi encontrada suportam essa afirmativa. Entretanto, sugere-se que uma amostragem mais ampla seja realizada, focando outras populações dessa espécie em áreas não iluminadas e iluminadas por luz de sódio.

#### 5.4 RELAÇÕES ENTRE ESPECTROS DE ILUMINAÇÃO AMBIENTAL E ARTIFICIAL, E ESPECTROS DE BIOLUMINESCÊNCIA

Para verificação de sobreposição entre o espectro de iluminação ambiental com o espectro de bioluminescência das espécies, os espectros de iluminação natural ambiental no horário de atividade dos vagalumes (quando puderam ser medidos) e das fontes luminosas artificiais foram registrados com espectrômetro de campo, conforme descrito na metodologia.

### 5.4.1 Comparação com espectro de *Bicellonycha lividipennis*

Os espectros de bioluminescência de adultos de *Bicellonycha lividipennis* e os espectros de iluminação ambiental e artificial de luz de sódio (Figura



39).

Fi

gura 39. Espectro de bioluminescência de *Bicellonycha lividipennis*, espectros da luz da abóboda celeste a oeste em minutos após o pôr do sol, e o espectro de uma fonte de luz de vapor de sódio.

A primeira vista, foi encontrada grande sobreposição entre os espectros fonte luminosa artificial de sódio e o espectro de bioluminescência e pouca sobreposição do espectro de bioluminescência com os espectros do céu a oeste que é a direção da máxima iluminação natural no horário em que as espécies se encontram ativos em campo (Figura 40). Dessa maneira, a integral das funções dos gráficos de espectros foi encontrada para auxiliar na

verificação das proporções de sobreposição do espectro da fonte luminosa artificial com o espectro de bioluminescência (TABELA 9).

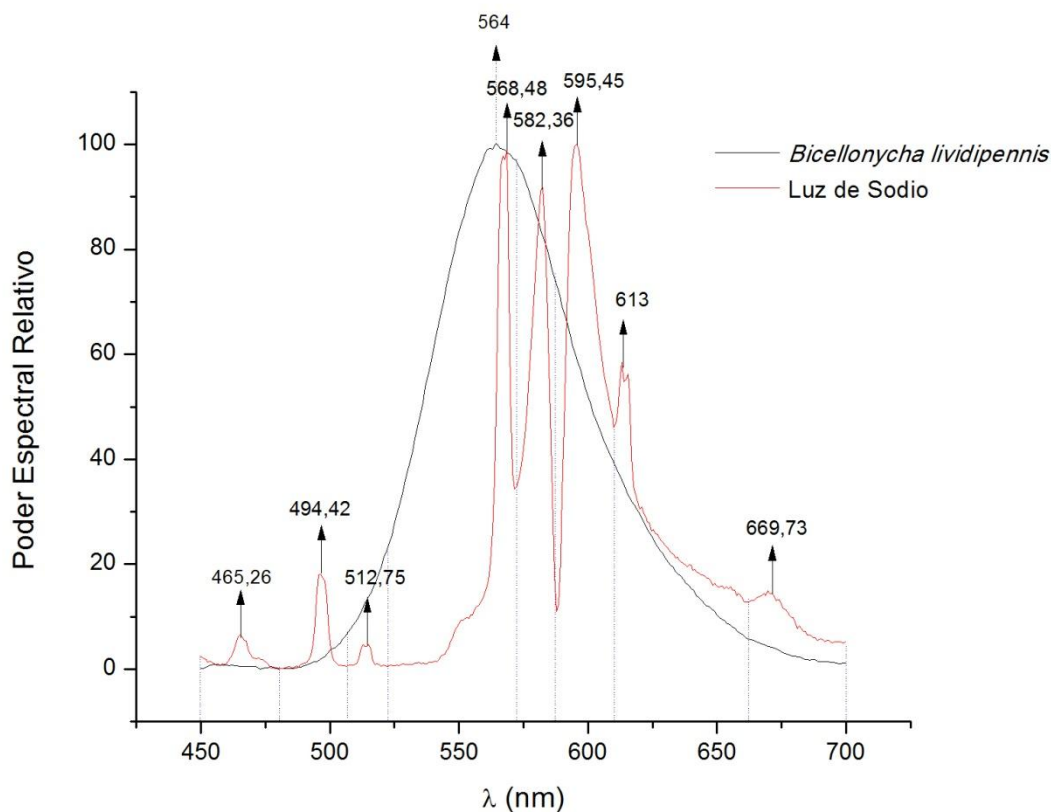


Figura 40. Sobreposição do espectro da luz uma lâmpada de sódio com o espectro de bioluminescência de uma espécie de vaga-lume. Legenda: as setas indicam os picos e as linhas tracejadas delimitam as áreas integradas na região dos picos da luz de sódio (Tabela 9).

**Tabela 9.** Porcentagem de sobreposição da luz de sódio com o espectro de bioluminescência nas regiões dos picos.

| Picos da Luz de Sódio (nm) | sobreposição (%) |        |        |        |       |       |
|----------------------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                            | 512,72           | 568,48 | 582,36 | 595,45 | 613   | 669,7 |
| Espectro do vaga-lume      | 100              | 100    | 100    | 79,47  | 76,72 | 32,37 |
| Luz de Sódio               | 14,51            | 23,75  | 64,77  | 100    | 100   | 100   |

Legenda: os valores referem-se a porcentagem de sobreposição do espectro na região do pico.

A partir da Figura 40 e da Tabela 9, nota-se que as proporções de sobreposição da iluminação de sódio é maior nas regiões de cinco de seus oito picos principais (465,26; 496,42; 512,75; 568,48; 582,36; 595,45; 613 e 669,7) e menor justamente na região do pico de emissão do vaga-lume (564 nm). A partir disso é possível identificar o pico do espectro de

emissão do vaga-lume em 564nm, e sobreposição em relação a ele pelo espectro da luz de Sódio em três intervalos principais (FIGURA 41). Na região entre 500 e 592 nm é de 34,69% na região do pico dessa espécie, ou seja, apesar de ocorrer sobreposição, a proporção de sobreposição não é tão grande na região do pico de emissão do vaga-lume (Tabela 10).

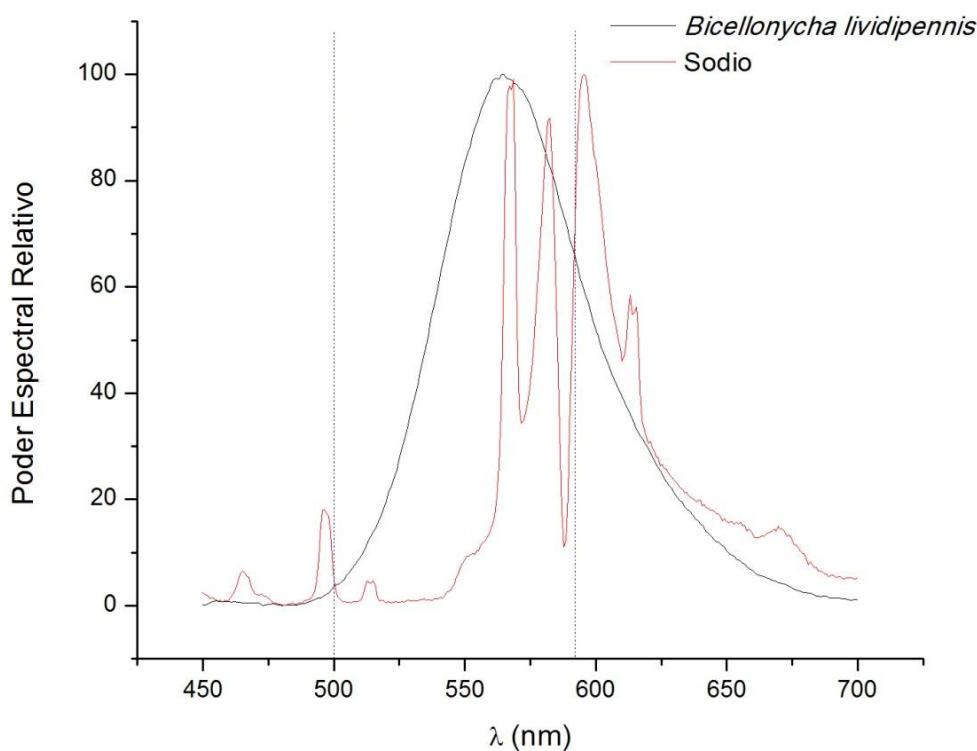


FIGURA 41. Três intervalos da sobreposição de espectros de luz de sódio e de *Bicellonycha lividipennis*.

**Tabela 10.** Faixas de sobreposição dos espectros de Sódio e do vaga-lume.

| Intervalo | Área do Espectro |         | Sobreposição (%) |       |
|-----------|------------------|---------|------------------|-------|
|           | B. lividipennis  | Sódio   | B.lividipennis   | Sódio |
| 450-500nm | 34,3             | 170,4   | 20,1             | 100   |
| 500-692nm | 5.441,9          | 1.887,9 | 100              | 34,7  |
| 592-700nm | 2.023,1          | 3.044,5 | 66,5             | 100   |

Apesar da sobreposição dos espectros da lâmpada com o da luz emitida pelo vaga-lume ser evidente, o espectro desse tipo de lâmpada não é um espectro de banda como o espectro do vaga-lume, mas um espectro de linha, onde há picos muito definidos de emissão do sódio notadamente com maior intensidade na região do amarelo do espectro de luz visível (SALA, 2007) e, portanto, com menor sobreposição com o espectro de bioluminescência do que em fontes de espectro contínuo ou com elevado rendimento cromático.



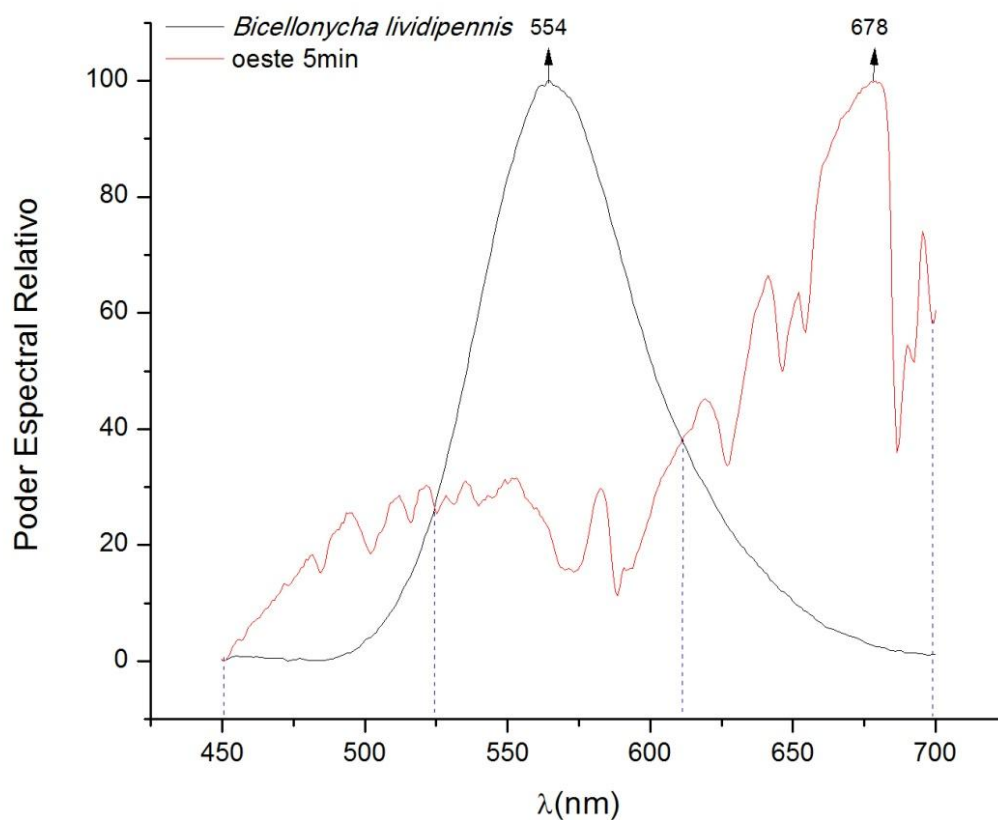


FIGURA 42. Sobreposição do espectro de bioluminescência de *Bicellonycha lividipennis* com a luminosidade do crepúsculo.

Na FIGURA 42 e Tabela 11 é mostrada a comparação do espectro de bioluminescência com o espectro do crepúsculo 5 minutos após o pôr do sol, quando o sensor foi posicionado na direção do céu a oeste, foi possível observar que não há sobreposição considerável com de seus picos.

**Tabela 11.** Faixas de sobreposição dos espectros de ambiental do pôr do sol e do vaga-lume.

| Intervalo | Área do Espectro       |            | Sobreposição (%)       |            |
|-----------|------------------------|------------|------------------------|------------|
|           | <i>B. lividipennis</i> | Crepúsculo | <i>B. lividipennis</i> | Crepúsculo |
| 450-525nm | 350,1                  | 1.324,4    | 26,4                   | 100        |
| 525-612nm | 6.123,2                | 2.183,5    | 100                    | 35,6       |
| 612-700nm | 1.025,9                | 5.731,4    | 17,9                   | 100        |

É observado que o espectro do crepúsculo é semelhante com o espectro da iluminação luz de vapor de sódio, sendo os espectros mais deslocados para o amarelo. Na região do pico do espectro do vaga-lume a porcentagem de sobreposição para os espectros comparados, é semelhante, sendo 35,65% de sobreposição do céu à oeste no crepúsculo e de 34,69% de sobreposição da luz de sódio. O que indica que a luz de sódio, por ter espectro bastante deslocado para o amarelo e o laranja, pode simular a luminosidade natural de fundo do ambiente natural no horário de atividade desses insetos e, dessa forma, a luz de sódio não apresenta um impacto considerável nas populações de *Bicellonycha lividipennis*, justificando a atividade de populações dessa espécie em áreas iluminadas por esse tipo de fonte luminosa.

A falta de um efeito considerável da iluminação artificial de sódio na atividade desta espécie de vaga-lume pode ser explicada pelo fato que esta espécie inicia sua atividade bioluminescente em horários em que a iluminação ambiental natural ainda é alta ( $\leq 4$  Lux), e à composição espectral da iluminação de sódio que simula a iluminação natural do ambiente onde esta espécie está adaptada, com baixa sobreposição espectral com o espectro de bioluminescência dessa espécie, assim tendo pouca interferência na atividade luminescente reprodutiva desta espécie. Entretanto, este tipo de iluminação artificial pode ter efeitos mais negativos para outras espécies que tem diferentes espectros de bioluminescência e horários de atividade mais tardios.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em anos anteriores (2009 a 2010), para o trabalho comparativo de quantificação da abundância de coleópteros bioluminescentes no *Campus* da UFSCar em Sorocaba, o método de amostragem pelo percurso de transectos de 50x2m por 1 minuto funcionara bem para vaga-lumes em geral. Ainda por este método e naquele período verificamos que as densidades para a maioria das espécies foi baixa, exceto para *Photinus* sp1, que foi a espécie dominante nas amostras da comunidade. Por isso, elegemos essa espécie para analisar os efeitos da iluminação artificial naquele período (HAGEN, 2009; SANTOS, 2011).

Por ter conseguido quantificar pelo método de transectos em trabalho anterior, aplicamos também esse método nas amostragens nas diferentes áreas no início do presente trabalho. Os muitos números de zero pode ter sido devido tanto ao fato de o período de atividade anual ter atrasado na época de coleta, quanto ao baixo número de indivíduos ativos em campo nos locais de amostragem, que foi aparentemente menor que nos anos anteriores. Não obtivemos sucesso na aplicação da contagem em transectos em outros ambientes. Apesar de a atividade bioluminescente ser constatada em campo, as amostragens nos transectos não representaram muito bem as abundâncias, pois foi frequente o número de não ocorrências dentro dos transectos.

No início do ano de 2013, focamos em avaliar quantitativamente as frequências de única espécie – *Bicellonycha lividipennis* – que era a mais abundante nas amostras em habitats brejosos e era uma das poucas ativas naquele período. Dessa forma, selecionamos duas áreas as mais semelhantes possíveis, que variavam apenas no fator que desejávamos testar: presença e ausência de luz artificial. Para a quantificação das frequências, adequamos o método de amostragem para ser aplicado justamente nas áreas de maior ocorrência da espécie (borda dos cinturões de *Typha* sp.), pois se assim não fosse, dada a tendência de distribuição, seria dificultada sua quantificação.

Assumimos, conforme os trabalhos anteriores (HAGEN, 2009; SANTOS, 2011), que a iluminação artificial é uma das variáveis que podem contribuir para a diminuição da abundância de coleópteros bioluminescentes em termos do número de indivíduos de uma espécie. Contudo ela não é o único fator a ser considerado. O grau de urbanização e o

histórico de fragmentação certamente tem influência sobre a biodiversidade, como demonstrado pela riqueza de espécies maior na Estação Biológica de Boracéia (VIVIANI e SANTOS, 2012) e na Serra da Paranapiacaba em comparação com outras áreas e levantamentos na região de Sorocaba (VIVIANI, ROCHA e HAGEN, 2010).

## 7. CONCLUSÕES

Na região do município de Sorocaba, os estudos do efeito de poluição luminosa, mostram que áreas iluminadas artificialmente apresentam menor riqueza de coleópteros bioluminescentes. O estudo com vaga-lumes *Bicellonycha lividipennis* em áreas brejosas mostra que adultos dessa espécie não são afetados pela iluminação artificial de vapor de sódio. Portanto, por não ser uma espécie sensível a esse tipo de iluminação, *Bicellonycha lividipennis* não pode ser considerada como uma boa indicadora de poluição luminosa.

A região morfoclimática da SA de Paranapiacaba apresentou a segunda maior diversidade de coleópteros bioluminescentes no bioma de Mata Atlântica do estado de São Paulo, com as seguintes espécies: *Aspisoma lineatum*, *Aspisoma physionotum*, *Aspisoma* SP (não foi identificada), *Cratomorphus beskei*, *Cratomorphus giganteus*, *Photinoides penai*, *Photinus* sp1, *Photinus* sp9, *Ethra* aff. *malleidicta* ou *axilaris*, *Ethra* aff. *adicta*, *Cladodes demoulini*, *Cladodes flabelicornis*, *Amydetes* SP (ainda não foi identificad), *Bicellonycha* SP (ainda não foi identificada), *Bicellonycha* sp8, *Pyrogaster lunifer*, *Pyrogaster moestus*, *Pyrogaster* sp3 ref. (PORTO, 2011), *Photuris elliptica*, *Photuris* sp1, *Photuris* sp7, *Stenophrixotrix* sp1, *Brasilocerus* sp1, *Phrixotrix hirtus*, *Pseudophengodes* sp1, *Hapsodrilus pyrotis*, *Pyroptesis cincticollis*, *Ptesiomopsia luculenta*, *Pyrearinus candelarius*, *Pyrearinus micatus* e *Pyrophorus divergens*.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. T.; PRADO, R. A.; VIVIANI, V. R. Luciferase from *Fulgeochlizus bruchi* (Coleoptera:Elateridae), a Brazilian click-beetle with a single abdominal lantern: molecular evolution, biological function and comparison with other click-beetle luciferases. **Photochemical & Photobiological Sciences**, Cambridge, v. 7, n. 11, p. 1259-1267, May 2012. Disponível em: <<http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2012/PP/c2pp25037c>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- BAILEY, M. E. Dark skies for all. **Astronomy & Geophysics**, Leeds, v. 6, n. 47, p. 35-36, Nov. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-4004.2006.47635.x>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- BARGHINI, A. **Antes que os vaga-lumes desapareçam ou influência da iluminação artificial sobre o ambiente**. São Paulo: Annablume; FAPESP, 2010.
- BARGHINI, A. **Influência da iluminação artificial sobre a vida silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos**. 2008. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-13062008-100639/pt-br.php>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- BARGHINI, A.; DE MEDEIROS, B. A. S. UV Radiation as an attractor for insects. **Leukos**, New York, v. 9, n. 1, p. 47-56, Jul. 2012. Disponível em: <<http://www.iesna.org/leukos/Volume9/number1.cfm>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- BECHARA, E. J. H. et al. Chemical, biological and evolutionary aspects of beetle bioluminescence. **Archive for Organic Chemistry**, Copenhagen, n. 8, p. 311-323, Feb. 2007.
- BERGEN, F.; ABS, M. Verhaltensökologische Studie zur Gesangsaktivität von Blaumeise (*Parus caeruleus*), Kohlmeise (*Parus major*) und Buchfink (*Fringilla coelebs*) in einer Großstadt. **Journal of Ornithology**, Heidelberg, v. 138, n. 4, p. 451-467, Oct. 1997.
- BLACKWELDER, R. E. Part 3: Lampyridae - Phengodidae. In: BLACKWELDER, R. E. **Bulletin of the United States National Museum**: checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, The West Indies, and South America. Washington: Smithsonian Institution United States Museum, 1945. v. 185, p. 351-362. Disponível em: <<http://www.biodiversitylibrary.org/page/7877119#page/385/mode/1up>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

BRANHAM, M. A.; WENZEL, J. W. The evolution of bioluminescence in Cantharoids (Coleoptera: Elateroidea). **The Florida Entomologist**, Gainesville, v. 84, n. 4, p. 565-586, Dec. 2001. Disponível em: <<http://www.fcla.edu/FlaEnt/fe84p565.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

BRANHAM, M. A.; WENZEL, J. W. The origin of photic behavior and the evolution of sexual communication in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). **Cladistics**, Washington, v. 19, n. 1, p. 1-22, Feb. 2003. Disponível em: <[http://doi.wiley.com/10.1016/S0748-3007\(02\)00131-7](http://doi.wiley.com/10.1016/S0748-3007(02)00131-7)>. Acesso em: 12 jul. 2011.

CANTY, A.; RIPLEY, B. **boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions**: R package version 1.3-9. [S.l.: s.n.], 2013.

COSTA, C.; VANIN, S. A.; CASARI-CHEN, S. A. **Larvas de Coleoptera do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo; FAPESP, 1988.

COSTA, C.; VANIN, S. A.; COLEOPICOLO NETO, P. Larvae of Neotropical Coleoptera, XIV: first record of bioluminescence in the family Staphilinidae (Xantholinini). **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 30, p. 101-104, 1986.

DE COCK, R. Biology and behavior of european lampyrids. In: MEYER-ROCHOW, V. B. **Bioluminescence in focus**: a collection of illuminating essays. Trivandrum: Research Signpost, 2009. p. 161-200.

DICK, M. H.; DONALDSON, W. Fishing vessel endangered crested auklet landings. **The Condor**, Lawrence, v. 80, n. 2, p. 235-236, Apr. 1978.

EISNER, T. et al. Firefly “femmes fatales” acquire defensive steroids (lucibufagins) from their firefly prey. **Proceedings of National Academy of Sciences of United States of América**, Washington, v. 94, n. 18, p. 9723-9728, Sept. 1997. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/94/18/9723.full.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

FRANK, K. D. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. **The Journal of the Lepidopterists' Society**, Los Angeles, v. 42, n. 2, p. 63-93, 1988. Disponível em: <[http://images.peabody.yale.edu/lepsoc/jls/1980s/1988/1988-42\(2\)63-Frank.pdf](http://images.peabody.yale.edu/lepsoc/jls/1980s/1988/1988-42(2)63-Frank.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

GAUTHREAUX JR., S. A.; BELSER, C. G. Effects of artificial night lighting on migrating birds. In: RICH, C.; LONGCORE, T. **Ecological consequences of artificial night lighting**. Washington: Island Press, 2006. p. 67-93.

GORENSTEIN, M. R. **Diversidade de espécies em comunidades arbóreas**: aplicação de índices de distinção taxonômica em três formações florestais do Estado de São Paulo. 2009. 146 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <[http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:disserteses:mauricio\\_gorenstein.pdf](http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:disserteses:mauricio_gorenstein.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

HAGEN, O. **Avaliação do efeito da iluminação artificial sobre as populações de vagalumes (Coleoptera: Lampyridae, Elateridae) no Campus da UFSCar de Sorocaba**. 2009. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2009. Disponível em: <[http://www.sorocaba.ufscar.br/ufscar/mce/arquivo/pagina49/tcc\\_oskar\\_hagen\\_ra284459.pdf](http://www.sorocaba.ufscar.br/ufscar/mce/arquivo/pagina49/tcc_oskar_hagen_ra284459.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package. **Paleontologia Electronica**, Columbia, v. 4, n. 1, 2001. Disponível em: <[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

HARDER, B. Deprived of Darkness: the unnatural ecology of artificial light at night. **Science News**, Washington, v. 161, n. 16, p. 248-249, Apr. 2002.

HOLT, E. A.; MILLER, S. W. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. **Nature Education Knowledge**, Cambridge, 2011. Disponível em: <<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310>>. Acesso em: 4 ago. 2012.

JACCARD, P. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et de Jura. **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**, Lausanne, v. 37, n. 142, p. 547-579, 1901.

KIRTON, L. G. et al. Monitoring populations of bioluminescent organisms using digital night photography and image analysis: a case study of the fireflies of the Selangor River, Malaysia. **Insect Conservation and Diversity**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 244-250, 2012. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-4598.2011.00157.x>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

KORTZ, A. R. **Composição florística dos fragmentos do Campus da UFSCar Sorocaba**. 2009. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2009. Disponível em: <[http://www.sorocaba.ufscar.br/ufscar/mce/arquivo/pagina49/tcc\\_alessandra\\_kortz\\_cbbs2006.pdf](http://www.sorocaba.ufscar.br/ufscar/mce/arquivo/pagina49/tcc_alessandra_kortz_cbbs2006.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.



LALL, A. B. et al. Ecology of colors of firefly bioluminescence. **Science**, Washington, v. 210, n. 4469, p. 560-562, Oct. 1980. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17841403>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

LALL, A. B. et al. Visual ecology of bioluminescent beetles: visual spectral mechanisms and the colors of optical signaling in Coleoptera, Elateroidea: Lampyridae, Elateridae and Phengodidae. In: MEYER-ROCHOW, V. B. **Bioluminescence in Focus: a collection of illuminating essays**. Kerala: Research Signpost, 2009. p. 201-228.

LAWRENCE, J. F.; NEWTON, A. F. Families and subfamilies of Coleoptera: with selected genera, notes, references and data on family-group names. In: PAKALUK, J.; SLIPINSKI, A. **Biology, phylogeny, and classification of Coleoptera: papers celebrating the 80th birthday of Roy Crowson**. Varsóvia: Museu e Instituto de Zoologia PAN, 1995. p. 779-1006.

LEWIS, S. M. Bioluminescence and sexual signaling in fireflies. In: MEYER-ROCHOW, V. B. **Bioluminescence in Focus: a collection of illuminating essays**. Kerala: Research Signpost, 2009. p. 147-159.

LLOYD, J. E. Insect bioluminescence. In: HERRING, P. J. **Bioluminescence in action**. Londres: Academic Press, 1978. p. 241-272.

LLOYD, J. E. Occurrence of aggressive mimicry in fireflies. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 67, n. 3, p. 368-376, Sept. 1984. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3494715>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

LLOYD, J. E. Stray light, fireflies, and fireflies. In: RICH, C.; LONGCORE, T. **Ecological consequences of artificial night lighting**. Washington: Island Press, 2006. p. 345-364.

LLOYD, J. E. Where are the lightningbugs?. **Fireflyer Companion & Letter**, Gainesville, v. 1, n. 1, p. 1-2,5,10, 1994. Disponível em: <<http://entnemdept.ufl.edu/lloyd/firefly/ffcomp1-1.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

LOGAN, M. Simple hypothesis testing - one and two population tests. In: LOGAN, M. **Biostatistical design and analysis using R: a practical guide**. Singapura: John Wiley & Sons, Inc., 2010. p. 134-150. Disponível em: <[www.wiley.com/go/logan/r](http://www.wiley.com/go/logan/r)>. Acesso em: 25 jul. 2013.

LONGCORE, T. Sensory Ecology: night lights alter reproductive behavior of blue tits. **Current Biology**, London, v. 20, n. 20, p. R893-R895, Oct. 2010.

LONGCORE, T.; RICH, C. Ecological light pollution. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 2, n. 4, p. 191-198, May 2004.

LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical ecology**: a primer in methods and computing. 1. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1988.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Tradução de Dana Moiana Vianna. Curitiba: Editora da UFPR, 2011.

MCDERMOTT, F. A. **Coleopterorum Catalogus Supplementa**: Pars 9: Lampyridae. 2nd. ed. Haia: W. Junk, 1966. 149 p.

MERRIT, D. J. Standarts of evidence for bioluminescence in cockroaches. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 100, n. 7, p. 697-698, Jul. 2013.

MEYER, A. S. **Comparação de coeficientes de similaridade usados em análises de agrupamento com dados de marcadores moleculares dominantes**. 2002. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MEYER-ROCHOW, V. B. Bioluminescence through the ages: a brief, but enlightening survey. In: MEYER-ROCHOW, V. B. **Bioluminescence in focus**: a collection of illuminating essays. Kerala: Research Signpost, 2009. p. 1-26.

MOLENAR, J. G.; JONKERS, D. A.; SANDERS, M. E. **Road illumination and nature III**: local influence of road lights on a black-tailed godwit (*Limosa I. limosa*) population. Wageningen: Ministry of Transport, Public Works and Water Management; Directorate-General of Public Works and Water Management Road and Hydrologie Engineering Division, 2000.

NOWINSZKI, L. Nocturnal illumination and night flying insects. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 2, n. 1, p. 17-52, 2004. Disponível em: <<http://www.ecology.kee.hu/pdf/02017052.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

OGDEN, L. J. E. **Collision Course**: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds. Toronto: World Wildlife Fund Canada; Fatal Light Awareness Program, 1996. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=flap>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

OHBA, N. **Studies on the communication system of Japanese Fireflies**. Yokosuka: Yokosuka City Museum, 1983.

OLIVIER, E. Lampyridae. In: JUNK, W.; SCHENKLING, S. **Coleoptera Catalogus**. Berlin: [s.n.], 1910. (pars 9).

PERRY, G. et al. Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. In: MITCHELL, J. C.; JUNG BROWN, R. E.; BARTHOLOMEW, B. (Ed.). **Urban Herpetology**. Salt Lake City: Society for the Study of Amphibians and Reptiles, 2008. p. 239-256. Disponível em: <[http://xa.yimg.com/kq/groups/23300174/2129639074/name/Chapter\\_16\\_Perry\\_et\\_al.pdf](http://xa.yimg.com/kq/groups/23300174/2129639074/name/Chapter_16_Perry_et_al.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

PORTO, D. S. **Morfologia comparada de espécies do gênero Pyrogaster Motschulsky, 1853 (Coleoptera, Lampyridae, Photurinae)**. 2011. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena. 2013. Disponível em: <[www.R-project.org/](http://www.R-project.org/)>. Acesso em: 1 ago. 2013.

REDFORD, K. H. Prey attraction as a possible function of bioluminescence in the larvae of *Pyrearinus termitiluminans*. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 31-34, 1982.

ROSA, S. P. Second record of bioluminescence in larvae of *Xantholinus Dejean* (Staphylinidae, Xantholinini) from Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 147-148, March 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0085-56262010000100022&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0085-56262010000100022&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

ROSA, S. P.; COSTA, C.; HIGASHI, N. New data on the natural history and description of the immatures of *Fulgeochlizus bruchi*, a bioluminescent beetle from Central Brazil (Elateridae, Pyrophorini). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 635-641, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492010004100001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492010004100001)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

RSTUDIO. **RStudio Integrated Development Environment (IDE)**. Boston. 2013. Disponível em: <<http://www.rstudio.org/>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

SALA, O. Uma introdução à espectroscopia atômica. II - O espectro do Sódio. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 2057-2061, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n8/a45v30n8.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

SALMON, M. Artificial night lightning and sea turtles. **The Biologist**, London, v. 50, n. 4, p. 163-168, 2003.

SALMON, M. et al. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. **Journal of Herpetology**, Athens, v. 29, n. 4, p. 560-567, Dec. 1995. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1564739?origin=crossref>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

SANTOS, R. M. **Levantamento das espécies de vaga-lumes no Parque Estadual Carlos Botelho e avaliação dos efeitos da iluminação artificial sobre a diversidade e a atividade de vaga-lumes no campus da UFSCar Sorocaba**. 2011. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.

SHIMOMURA, O. **Bioluminescence: chemical principles and methods**. Washington: World Scientific Publishing, 2006.

SVENSSON, M. G. E.; RYDELL, J.; BROWN, R. Bat predation and flight timing of winter moths, *Epirrita* and *Operophtera* species (Lepidoptera, Geometridae). **Oikos: a journal of ecology**, Copenhagen, v. 84, n. 2, p. 193-198, 1999. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3546713>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VIVIANI, V. R. Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) from Southeastern Brazil: habitats, life history, and bioluminescence. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 94, n. 1, p. 129-145, Jan. 2001. Disponível em: <[http://www.bioone.org/doi/full/10.1603/0013-8746\(2001\)094\[0129:FCLFSB\]2.0.CO;2](http://www.bioone.org/doi/full/10.1603/0013-8746(2001)094[0129:FCLFSB]2.0.CO;2)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VIVIANI, V. R. Luciferases de vagalumes: estrutura, função e aplicação em bioanálise e bioimageamento. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 37, p. 8-19, 2007. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio37/luciferases.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VIVIANI, V. R.; BECHARA, E. J. H. Bioluminescence of brazilian fireflies (Coleoptera: Lampyridae): spectral distribution and pH effect on luciferase-elicited colors. Comparison with elaterid and phengodid luciferases. **Photochemistry and Photobiology**, Oxford, v. 62, n. 2, p. 490-495, 1995. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1751-1097.1995.tb02373.x>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VIVIANI, V. R.; BECHARA, E. J. H. Bioluminescence and biological aspects of Brazilian railroadworms. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, 90, n. 3, p. 389-398, May 1997.

VIVIANI, V. R.; ROCHA, M. Y.; HAGEN, O. Fauna de besouros bioluminescentes (Coleoptera: Elateroidea: Lampyridae; Phengodidae, Elateridae) nos municípios de Campinas, Sorocaba-Votorantim e Rio Claro-Limeira (SP, Brasil): biodiversidade e influência da urbanização. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 103-116, 2010. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n2/pt/abstract?article+bn03010022010>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VIVIANI, V. R.; SANTOS, R. M. Bioluminescent Coleoptera of Biological Station of Boracéia (Salesópolis, SP, Brazil): diversity, bioluminescence and habitat distribution. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 21-34, set. 2012. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v12n3/en/abstract?article+bn00212032012>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VRŠANSKÝ, P. et al. Light-mimicking cockroaches indicate Tertiary origin of recent terrestrial luminescence. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 99, n. 9, p. 739-749, Sept. 2012. Disponível: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00114-012-0956-7>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

VRŠANSKÝ, P.; CHORVÁT, D. Luminescent system of *Lucihormetica luckae* supported by fluorescence lifetime imaging. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 100, n. 11, p. 1099-1101, Nov. 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24189980>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

WIESE, F. K. et al. Seabirds at risk around offshore oil platforms in the North-west Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 42, n. 12, p. 1285-1290, Dec. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X01000960#>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

WING, S. R. Female monogamy and male competition in *Photinus collustrans* (Coleoptera: Lampyridae). **Psyche**, Cambridge, v. 91, n. 1-2, p. 153-160, 1984. Disponível em: <<http://psyche.entclub.org/pdf/91/91-153.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

WITHERINGTON, B. E. Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting. **Herpetologica**, Lafayette, v. 48, n. 1, March 1992. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3892916> .>. Acesso em: 25 nov. 2013.

ZOMPRO, O.; FRITZSCHE, I. *Lucihormetica* n. gen. n. sp., the first record of luminescence in an orthopteroid insect (Dictyoptera: Blaberidae: Blaberinae: Brachycolini). **Amazoniana: liminologia et oecologia regionalis systemae fluminis Amazonas**, Manaus, v. 15, n. 3-4, p. 211-219, 1999.

APÊNDICE-A  
**Script do R utilizado na análise dos dados de *Bicellonycha lividipennis***

```

# Script baseado no Exemplo 6.E do livro 'Biostatistical Design and
# Analysis Using R' (Logan 2010)
#-----
# necessita do arquivo .csv gerado com base na Tabela 5 do presente
# trabalho
#-----
# abre e lê o arquivo vagalumes.csv e nomeie o objeto como vagalumes
vagalumes <- read.table('vagalumes.csv', header=T, sep=',')
# chame o objeto
vagalumes
# verifique normalidade/homogeneidade de variâncias através do boxplot
boxplot(VAGALUMES~LOCAL, vagalumes)
# verifica-se quantidade em classes diferentes (os valores reais!!!)
#-----
# verifique normalidade/homogeneidade com os dados transformados em raiz
boxplot(sqrt(VAGALUMES~LOCAL, vagalumes)
# verifica-se que não há redução na escala. Ainda assim não é semelhante
# ainda há um "rabão"na curva da distribuição, com muitos valores de 0
#-----
# A partir do observado, é possível gerar uma distribuição-t por
# randomização a partir das amostras. Um teste mais robusto do que
# meramente aplicar um teste-t padrão nos dados do jeito que estão
#-----
# Aplica-se um teste-t nos dados do jeito que se encontram
t.test(VAGALUMES~LOCAL, vagalumes)
# anota-se o valor do teste e o valor de p
#-----
# Define-se uma estatística para o teste de randomização
stat <- function(vagalumes, indices) {
  t.test <- t.test(VAGALUMES~LOCAL, vagalumes)$"stat"
  t.test
}
# define-se o teste de randomização, nesse caso, sem reposição
rand.gen <- function(vagalumes,mle) {
  out <- vagalumes
  out$LOCAL <- sample(out$LOCAL, replace=F)
  out
}
# define-se como os dados serão aleatoriamente reordenados, para cada
# local e para cada observação
# será utilizado o procedimento de reamostragem por bootstrap
# para isso abre o pacote 'boot'
library(boot)
# realize o procedimento 5000 vezes e aguarde...
vagalumes.boot <- boot(vagalumes, stat, R=5000, sim="parametric",
ran.gen=rand.gen)
# examina-se a distribuição da estatística-t gerada pelo bootstrap
# e observa-se o gráfico com os valores de t gerados
print(vagalumes.boot)
plot(vagalumes.boot)
# note que a distribuição-t gerada agora segue uma distribuição normal
# um valor de t positivo é equivalente ao valor de t negativo, somente
# interessa o valor da magnitude do valor de t não significativo
#-----
# Calcula-se o número de possíveis valores de t, incluindo o t observado
# como uma possível observação que é maior ou igual ao t observado,
# correspondendo em porcentagem do número de aleatorizações
tval <- length(vagalumes.boot[vagalumes.boot$t >=
abs(vagalumes.boot$t0)])+1
tval/(vagalumes.boot$R + 1)
#-----
# Toma-se nota do valor de p e a partir dele faz-se a interpretação
#-----

```

## ANEXO 1

## Matriz de dados para análise de agrupamento

|   | Tapiraí | PE Carlos Botelho | PE Intervalas | Avaré | B.Cururu |
|---|---------|-------------------|---------------|-------|----------|
| <i>Aspisoma lineatum</i>                                | 0       | 1                 | 0             | 1     | 1        |
| <i>Aspisoma physonotum</i>                              | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Aspisoma</i> sp.                                     | 1       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Cratomorphus besckei</i>                             | 1       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Cratomorphus giganteus</i>                           | 1       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Photinoides penai</i>                                | 1       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub>                         | 0       | 1                 | 1             | 1     | 1        |
| <i>Photinus</i> sp <sub>9</sub>                         | 1       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0       | 1                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Cladodes demoulini</i>                               | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Cladodes flabellicornis</i>                          | 0       | 1                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Amydetes</i> sp.                                     | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Bicellonycha</i> sp.                                 | 0       | 1                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Bicellonycha</i> sp <sub>8</sub>                     | 1       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Pyrogaster lunifer</i>                               | 0       | 1                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Pyrogaster moestus</i>                               | 0       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Pyrogaster</i> sp <sub>3</sub> (Ref. Diego S. Porto) | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Photuris elliptica</i>                               | 0       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Photuris</i> sp <sub>1</sub>                         | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Photuris</i> sp <sub>7</sub>                         | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Stenophrixotrix</i> sp <sub>1</sub>                  | 1       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Brasilocerus</i> sp <sub>1</sub>                     | 1       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Phrixotrix hirtus</i>                                | 1       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Pseudophengodes</i> sp <sub>1</sub>                  | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Hapsodrilus pyrotis</i>                              | 1       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Pyroptesis cincticollis</i>                          | 1       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Ptesiomopsia luculenta</i>                           | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Pyrearinus brevicollis</i>                           | 0       | 1                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Pyrearinus candelarius</i>                           | 0       | 0                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Pyrearinus micatus</i>                               | 1       | 0                 | 1             | 0     | 1        |
| <i>Pyrophorus divergens</i>                             | 1       | 1                 | 1             | 0     | 0        |
| <i>Bicellonycha lividipennis</i>                        | 0       | 0                 | 0             | 0     | 1        |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub>                         | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Photinus</i> sp.                                     | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Bicellonycha ornaticolis</i>                         | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Cratomorphus</i> sp <sub>4</sub>                     | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Amydetes</i> sp <sub>5</sub>                         | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |
| <i>Aspisoma neglectum</i>                               | 0       | 0                 | 0             | 0     | 0        |



## Anexo 1(continuação)

|   | B.Jurupa<br>razinho | B.Bonita<br>S1 | B.Bonita<br>S2 | Brotas | Campus | Campus<br>brejo |
|---|---------------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------|
| <i>Aspisoma lineatum</i>                                | 1                   | 1              | 0              | 0      | 1      | 1               |
| <i>Aspisoma physonotum</i>                              | 0                   | 0              | 0              | 0      | 1      | 1               |
| <i>Aspisoma</i> sp.                                     | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Cratomorphus besckei</i>                             | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Cratomorphus giganteus</i>                           | 1                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Photinoides penai</i>                                | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub>                         | 1                   | 0              | 0              | 1      | 1      | 1               |
| <i>Photinus</i> sp <sub>9</sub>                         | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Cladodes demoulini</i>                               | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Cladodes flabellicornis</i>                          | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Amydetes</i> sp.                                     | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Bicellonycha</i> sp.                                 | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Bicellonycha</i> sp <sub>8</sub>                     | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pyrogaster lunifer</i>                               | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pyrogaster moestus</i>                               | 0                   | 1              | 0              | 0      | 1      | 1               |
| <i>Pyrogaster</i> sp <sub>3</sub> (Ref. Diego S. Porto) | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Photuris elliptica</i>                               | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Photuris</i> sp <sub>1</sub>                         | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Photuris</i> sp <sub>7</sub>                         | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Stenophrixotrix</i> sp <sub>1</sub>                  | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Brasilocerus</i> sp <sub>1</sub>                     | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Phrixotrix hirtus</i>                                | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pseudophengodes</i> sp <sub>1</sub>                  | 0                   | 0              | 0              | 0      | 1      | 0               |
| <i>Hapsodrilus pyrotis</i>                              | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pyroptesis cincticollis</i>                          | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Ptesiomopsia luculenta</i>                           | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pyrearinus brevicollis</i>                           | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Pyrearinus candelarius</i>                           | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 1               |
| <i>Pyrearinus micatus</i>                               | 1                   | 0              | 0              | 0      | 1      | 1               |
| <i>Pyrophorus divergens</i>                             | 1                   | 1              | 1              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Bicellonycha lividipennis</i>                        | 1                   | 0              | 0              | 1      | 0      | 1               |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub>                         | 1                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 1               |
| <i>Photinus</i> sp.                                     | 0                   | 0              | 1              | 0      | 0      | 0               |
| <i>Bicellonycha ormaticolis</i>                         | 0                   | 0              | 0              | 1      | 0      | 0               |
| <i>Cratomorphus</i> sp <sub>4</sub>                     | 0                   | 0              | 0              | 1      | 0      | 1               |
| <i>Amydetes</i> sp <sub>5</sub>                         | 0                   | 0              | 0              | 0      | 1      | 1               |
| <i>Aspisoma neglectum</i>                               | 0                   | 0              | 0              | 0      | 0      | 1               |

## Anexo 1(continuação)

|   | <b>Chac.<br/>Veneza</b> | <b>Flona</b> | <b>Jd<br/>América</b> | <b>Faz.<br/>Taquaral</b> | <b>Pilar</b> | <b>Jequití<br/>bás</b> |
|---|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
| <i>Aspisoma lineatum</i>                                | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Aspisoma physonotum</i>                              | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 1                      |
| <i>Aspisoma</i> sp.                                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Cratomorphus besckei</i>                             | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Cratomorphus giganteus</i>                           | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 1            | 0                      |
| <i>Photinoides penai</i>                                | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Photinus</i> sp <sub>1</sub>                         | 0                       | 1            | 0                     | 1                        | 1            | 1                      |
| <i>Photinus</i> sp <sub>9</sub>                         | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Ethra</i> aff.                                       | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Cladodes demoulini</i>                               | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Cladodes flabellicornis</i>                          | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Amydetes</i> sp.                                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Bicellonycha</i> sp.                                 | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Bicellonycha</i> sp <sub>8</sub>                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyrogaster lunifer</i>                               | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyrogaster moestus</i>                               | 0                       | 1            | 0                     | 0                        | 0            | 1                      |
| <i>Pyrogaster</i> sp <sub>3</sub> (Ref. Diego S. Porto) | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Photuris elliptica</i>                               | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Photuris</i> sp <sub>1</sub>                         | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Photuris</i> sp <sub>7</sub>                         | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Stenophrixotrix</i> sp <sub>1</sub>                  | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Brasilocerus</i> sp <sub>1</sub>                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Phrixotrix hirtus</i>                                | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pseudophengodes</i> sp <sub>1</sub>                  | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Hapsodrilus pyrotis</i>                              | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyroptesis cincticollis</i>                          | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Ptesiomopsia luculenta</i>                           | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyrearinus brevicollis</i>                           | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyrearinus candelarius</i>                           | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Pyrearinus micatus</i>                               | 0                       | 1            | 0                     | 0                        | 0            | 1                      |
| <i>Pyrophorus divergens</i>                             | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Bicellonycha lividipennis</i>                        | 1                       | 1            | 1                     | 0                        | 1            | 0                      |
| <i>Aspisoma</i> sp <sub>2</sub>                         | 1                       | 1            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Photinus</i> sp.                                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Bicellonycha ornaticolis</i>                         | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Cratomorphus</i> sp <sub>4</sub>                     | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Amydetes</i> sp <sub>5</sub>                         | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |
| <i>Aspisoma neglectum</i>                               | 0                       | 0            | 0                     | 0                        | 0            | 0                      |



Para informações atualizadas do PPGDBC / Sorocaba consulte a página:  
[www.ppgdbc.ufscar.br](http://www.ppgdbc.ufscar.br)

---

Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação - PPGDBC

UFSCar - Campus Sorocaba  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Km 110 - CEP 18052-780  
Bairro do Itinga - Sorocaba - São Paulo - Brasil

Contato:  
Secretaria PPGDBC (15) 3229-5943

