

Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba
Faculdade Bacharelado em Ciências Biológicas
Laboratório de Bioluminescencia e Biotecnologia

Oskar Hagen

“AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SOBRE AS
POPULAÇÕES DE VAGA-LUMES (Coleoptera: Lampyridae, Elateridae) NO
CAMPUS DA UFSCAR DE SOROCABA”

Sorocaba, 2009

Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba
Faculdade Bacharelado em Ciências Biológicas
Laboratório de Bioluminescencia e Biotecnologia

**“AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SOBRE AS
POPULAÇÕES DE VAGA-LUMES (Coleoptera: Lampyridae, Elateridae) NO
CAMPUS DA UFSCAR DE SOROCABA”**

Oskar Hagen

Redação Final do Trabalho de
Conclusão de Curso apresentada à
banca examinadora como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Bacharelado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Vadim Viviani

Co-orientador: Prof.Dr. Marcelo Nivert

Sorocaba, 2009

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio e atenção que sempre me deram, mesmo nos momentos difíceis que passamos. Obrigado Silvia, Stefano e Andres pelo seu carinho, força, incentivo e generosidade.

A UFSCar pela oportunidade de estudar e a todos os professores e técnicos pelo esforço e dedicação.

Em especial ao Prof. Dr. Vadim Vivianii que me ensinou muito sobre vaga lumes, bioquímica e coletas de campo e por orientar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcelo Nivert por sua disponibilidade, atenção e por suas valiosas dicas.

Ao Prof. Dr. Alexander Vicente Christianini por sua prontidão e sugestões sempre construtivas.

A Prof^a. Dr^a. Ingrid Koch cujo olhar levantou novas hipóteses e identificou as espécies vegetais predominantes nos transectos.

A Prof^a. Dr^a.. Maria Virginia Urso-Guimarães por despertar meu interesse no estudo dos insetos.

Ao Prof. Dr. Albano Geraldo Magrin, primeiro mentor e amigo.

A turma de Bacharelado em Ciências Biológicas 2006 e seu coordenador Prof. Dr. Augusto Piratelli, companheiros que me fizeram sorrir quando senti vontade de chorar e continuar quando pensei em desistir.

Aos amigos que de tantas formas colaboraram com este trabalho, especialmente à Mayra e lógico ao Rafael Machado pela ajuda nas observações de campo, nem sempre em situações confortáveis, e por seu interesse em prosseguir com este trabalho.

Vaga-lume tem! tem
A lua no céu
Uma estrela na mão

Vaga-lume piscando
acende a escuridão

Vaga-lume tem!Tem!
Vaga-lume tem!Tem!

O menino correndo
tenta agarrá-lo em vão

Vagam silenciosos
andam em procissão

Vaga-lume tem!Tem!
Vaga-lume tem!Tem!

Vaga
-lume

tem

mais

não!

(Sirlei L. Passolongo)

RESUMO

Dentre os diversos tipos de poluição, somente recentemente a fotopoluição tem sido considerada. O efeito da iluminação artificial sobre populações de vaga-lumes em algumas áreas de Sorocaba e no recente *Campus Sorocaba* da Universidade Federal de São Carlos foi avaliado. A mudança de luminosidade depois da instalação dos refletores do *Campus* constitui a condição experimental.

A luminosidade determinada com fotômetro de campo foi confrontada com análises quantitativas e qualitativas das populações de vaga-lumes feitas por coleta, transectos e observações. Os espectros de bioluminescência das espécies encontradas foram usados para se investigar eventuais relações da iluminação artificial de diferentes cromaticidades com a bioluminescência e fotoecologia destas espécies. Lampyridae foi a família mais ocorrente na área (96%) tendo *Photinus* sp1 81,7% de participação em todas as ocorrências, apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias de ocorrência no ponto mais próximo à iluminação artificial nos dias com esta ligada e desligada. Tais dados, somados a outras evidências, indicam que as áreas mais expostas a iluminação artificial apresentam menor atividade e diversidade de vaga-lumes e contribuem para entender e ilustrar os efeitos da iluminação artificial em organismos noturnos; podendo auxiliar na seleção de novos bioindicadores.

Palavras chave: Iluminação Artificial. Fotopoluição. Vaga-lumes. Ecologia. Lampirídeos. (*Photinus*. *Amydetes*. *Aspisoma*. *Pyrogaster*.) Elaterídeos. (*Pyrearinus*. *Phyrophorus*.)

ABSTRACT

Among the various types of pollution, only recently has artificial nightlighting been considered. The effect of artificial light on fireflies populations in Sorocaba municipality and in the recently constructed *Campus* of the Federal University of São Carlos was analyzed. In the environmental light changes after the installation of lamps on the new *Campus* constitute the basis of the experiment.

The field luminosity was determined by photometer and compared with quantitative and qualitative analysis of populations of fireflies performed by observations, transects and collecting. The bioluminescence spectra of the species was used to investigate possible relationships between artificial lighting of different chromaticities with the bioluminescence and fotoecology of these species. Lampyridae was the family with more occurrences in the area (96%) having *Photinus* sp1 81,7% of all occurrences and significant differences ($p < 0.05$) among the averages of occurrence in the nearest point to the artificial lighting in days with this on and off. These data, in addition to other evidences, indicate that the most exposed areas to artificial lighting have a lower activity and diversity of fireflies. These findings help to understand and illustrate the effects of artificial light on organisms, and how these effects can facilitate the selection of bioindicators.

Key Words: Artificial Night Lighting. Fotopolution. Firefliers. Ecology. Lampyridae. (*Photinus*. *Amydetes*. *Aspisoma*. *Pyrogaster*.) Elateridae. (*Pyrearinus*. *Phyrophorus*.)

LISTA DE ABREVIATURAS

UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
lux	Iluminamento - incidência luminosa sobre uma superfície de 1 m ²
lm	lúmen
k	kelvins
W	Watt internacional
λ_{\max}	comprimento de onda máximo

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1.** Padrão de sinalização e bioluminescência das espécies ocorrentes na área.....22
- TABELA 2.** Resultados obtidos com a de metodologia transecto para as espécies ocorrentes no *Campus* (nov/2008 a out/2009). 'n' corresponde ao número total de ocorrências nos pontos 'P0', P1' e 'P2' para as duas condições possíveis do holofote, amostras representa o esforço amostral contado pelo número total de transectos realizados nas condições relativas.....28
- TABELA 3.** Dados registrados nos dias em que o fenômeno skyglow* foi medido.....30
- TABELA 4.** Médias de luminosidade ambiental a cada 10 minutos após o por do sol.....32
- TABELA 5.** Meses onde houve observação de atividade bioluminescente de cada espécie, gêneros ou família.....33
- TABELA 6.** Horários, em minutos pós-por do sol, onde houve observação de atividade bioluminescente de cada espécie, gênero ou família. '* ' é o horário do por do sol (zero minutos).....34
- TABELA 7.** Diferença entre os tratamentos (holofote aceso e holofote apagado) para *Photinus* sp1 para os meses de agosto a outubro de 2009.....39
- TABELA 8.** Espécies e seus espectros de bioluminescência - λ_{\max} (comprimento de onda máximo).....39
- TABELA 9.** Espécies de vaga-lumes ocorrentes na região de Sorocaba e seus respectivos habitats ano de 2007.....42

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Mapa de vegetação sobre aerocarta 1:20.000 do *Campus* da UFSCAR de Sorocaba. Destaque para sítios de observação e fonte principal de luz artificial.....19
- FIGURA 2.** Distribuição espectral dos holofotes Osram HQI-T N21
- FIGURA 3.** Número total da ocorrência de vaga-lumes e suas famílias no *Campus da UFSCar* Sorocaba. n=268 (total de ocorrências) com esforço amostral de 231 transectos.....27
- FIGURA 4.** Número de indivíduos observados pelo esforço amostral nos pontos ('P0', 'P1', 'P2') em dias com os holofotes acesos e apagados. N=268, esforço amostral total = 231 transectos.....28
- FIGURA 5.** Porcentagens de ocorrência por ponto e estado dos holofotes para as espécies *Photinus* sp1, *Amydetes* sp5, *Aspisoma lineatum* e *Aspisoma physonotum* (*Aspisoma* spx), *Pyrogaster* sp1 representando os Lampirídeos, Elaterídeos (*Pyrearinus* spx, *Phyrophorus divergens*.) e outros. 'n' representa o número de ocorrências total e 'a' o esforço amostral para cada barra respectiva.....29
- FIGURA 6.** Iluminação ambiental em lux relativa a cada "oitavo" de cobertura de nuvem para a céu, dados apenas após os 50 minutos pós por do sol sem presença de lua.32
- FIGURA 7.** Ocorrência média de todos os vaga-lumes e do *Photinus* sp1 nos dias em que foram realizados transectos.....33

- FIGURA 8.** Atividade média de ocorrência por minutos após o por do sol para *Photinus* sp1, com barra de desvio padrão e linha de tendência polinomial de 2ª ordem.....34
- FIGURA 9.** Ocorrências e o número de indivíduos ocorrentes nos transectos (eixo y), pela intensidade de iluminação ambiental respectiva.....36
- FIGURA 10.** Média de ocorrências e desvio padrão para *Photinus* sp1 nos pontos 'P0', 'P1' e 'P2' para os meses de agosto a outubro de 2009 com os holofotes acesos (n=12 dias) e os holofotes apagados (n=9 dias).....37
- FIGURA 11.** Média de ocorrência registradas nos transectos para cada ponto em dias com os holofotes acesos (n =12) e em dias com os holofotes apagados (n=9) de agosto a novembro de 2009.....38
- FIGURA 12.** Sobreposição dos espectros de emissão máximo de algumas espécies ocorrentes no *Campus* no gráfico de distribuição espectral dos holofotes Osram HQI-T N48

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Objetivos.....	17
3. Material e Métodos.....	18
3.1 Locais de estudo.....	18
3.2 Observações, coleta e identificação dos vaga-lumes.....	21
3.2.1 Observações.....	21
3.2.2 Coleta e identificação dos vaga-lumes.....	22
3.3 Medidas de Luz ambiental.....	23
3.4 Determinação dos horários de atividades de vaga-lumes das intensidades de luz e outras características ambientais.....	23
3.5 Determinação quantitativa e qualitativa das atividades de vaga-lumes.....	24
3.6 Análises estatísticas.....	24
3.7 Medição dos espectros de bioluminescência in vivo.....	25
4. Resultados.....	26
4.1 Iluminação artificial ('P0', 'P1' e 'P2').....	29
4.2 Iluminação natural ('P0', 'P1' e 'P2').....	31
4.3 Períodos e horários de atividade.....	33
4.4 Atividade bioluminescente e iluminação ambiental.....	35
4.5 Espectros de bioluminescência.....	39
4.6 Outras observações.....	40
5. Discussão.....	41
6. Conclusão.....	51
7. Referências Bibliográficas.....	52

1 INTRODUÇÃO

Bioluminescência é a emissão de luz fria e visível produzida bioquimicamente para finalidades de comunicação biológica e pode ser encontrada nas cores azul, verde, amarela, laranja e vermelha (Viviani, 2002).

Todos os organismos vivos produzem um baixo nível de luz quando seus metabólitos reagem com radicais livres, emitindo fótons numa intensidade que não pode ser percebida por nenhum ser vivo (Lee, 1989; Murphy & Sies, 1990 *apud* DeCock & Matthysen, 2004). Assim, apenas os organismos com bioluminescência visível são considerados bioluminescentes (DeCock & Matthysen, 2004)

Entre os organismos luminescentes, encontramos desde peixes de profundezas até invertebrados e fungos. Alguns luminescem através de simbiose com bactérias ou fungos, outros produzem luz própria (Gullan & Cranston, 2007). Entre estes se encontram alguns insetos como Collembola, Díptera: Mycetophilidae e 3 famílias de Coleóptera: Phengodidae, Lampyridae e Elateridae (Viviani, 2001). Os vaga-lumes, coleópteros da família dos Lampyridae, são os insetos mais conhecidos que usam a bioluminescência para fins de reprodução (corte) e defesa de maneira mais abrangente (Lloyd, Wing & Hongtrakul, 1989).

Existem dois tipos básicos de comunicação por bioluminescência, na reprodução em vaga-lumes lampirídeos: no tipo I a fêmea se encarrega de sinalizar para o macho sua posição; no tipo II a emissão de sinal inicial ocorre por parte do macho, com resposta da fêmea (Lloyd, 1979). Em ambos os casos a fêmea se mantém estacionária na vegetação e é o macho quem voa. Existe um

horário típico para o aparecimento de machos a procura de fêmeas, e este é normalmente dado em minutos após o por do sol, para as espécies noturnas (Wing, 1984).

De acordo com Lall, Seliger, Biggley e Lloyd (1980), existe uma relação entre os espectros de bioluminescência e o horário de atividade nas espécies norte-americanas. As espécies predominantemente noturnas emitem um sinal deslocado para o verde, enquanto que as espécies vespertinas, quando ainda existe forte iluminação de fundo, tendem a emitir cores mais amarelo-alaranjadas, para sobrepujar o efeito fótico da refletância da vegetação, que é na região do verde (Endler, 1993). Entretanto, nas espécies sul-americanas de latitudes tropicais, esta regra parece não se aplicar tão efetivamente, provavelmente devido ao fato que o crepúsculo ser extremamente curto, não havendo possibilidade de adaptação eficiente de espécies vespertinas (Viviani & Bechara, 1995; Viviani, 2001). Tudo isto implica na existência de uma forte influência da iluminação ambiental na fotoecologia das espécies (Lall & Lloyd, 1989).

O termo Fotopoluição, pela primeira vez cunhado em 1985, já era estudado muito anteriormente como consta nas observações de Aristóteles sobre os mecanismos de atração de alguns animais pela luz e por Verheijen em *Mecanismos Animal e Luz* de 1958 (Richard & Longcore, 2006). É crescente a preocupação com os efeitos adversos da poluição luminosa (Harder, 2002), a qual, nas últimas décadas, tem sido cada vez mais reconhecida como um problema ambiental cada vez mais expressivo (Bailey, 2006).

No entanto existe uma carência de trabalhos científicos que documentem, qualifiquem e quantifiquem esses fenômenos. Mais estudos são essenciais para

auxiliar na legislação e implantação de medidas efetivas contra a fotopoluição (Molenaar et al., 2000). Leis recentes em alguns estados dos EUA e Europa já têm como objetivo reduzir a fotopoluição (Richard & Longcore, 2006).

A iluminação artificial tem influência sobre a fauna e a flora. Pode alterar o fotoperíodo das plantas e alterar padrões que resultam em diversas conseqüências em cadeia, como florações em épocas inesperadas e seus resultados sobre insetos polinizadores. Em tartarugas marinhas, a luminosidade dos centros urbanos orienta a caminhada dos recém-nascidos na direção oposta ao mar aumentando a mortalidade da espécie (Witherington, 1992). Em pássaros, luz vermelha interfere com a orientação magnética. Em seres humanos acredita-se que a iluminação noturna em centros urbanos influencia fatores psico-sociais sendo mencionado como uma das causas que contribuem para o aumento da criminalidade e depressão. Em insetos, é conhecido há muito tempo o efeito adverso da luz artificial em atrair e matar espécies noturnas, como mariposas e besouros (Richard & Longcore, 2006).

Sobre os vaga-lumes, em várias localidades do mundo foi registrada a diminuição ou desaparecimento de espécies em áreas urbanas e industrializadas (Lloyd, 1993, 2006; DeCock & Matthysen, 2004). Os vaga-lumes, por dependerem de sua luminescência para reprodução, são muito sensíveis a condições de iluminação ambiental (Lall *et. al.*, 1980). Na região de Campinas, ao longo dos últimos 20 anos registrou-se o desaparecimento de várias espécies em localidades onde se instalou iluminação artificial (Viviani, 2001).

Evolutivamente adaptados a “noites escuras”, onde a única fonte de iluminação noturna eram as fontes naturais (Richard & Longcore, 2006), os vaga-

lumes quando expostos a iluminação artificial, podem apresentar um novo padrão que pode não refletir no padrão tradicional. Um exemplo de tal fenômeno é a alteração do padrão de atividade bioluminescente do vaga-lume *Luciola cruciata*, a qual foi prolongada durante a noite após a instalação de iluminação artificial próxima ao castelo de Nagoya, Japão (Prof. Dr. Vadim Viviani, informação verbal, 17 de novembro de 2009).

Vaga-lumes e outros coleópteros bioluminescentes podem se constituir valiosos indicadores ambientais do impacto da iluminação artificial, sendo ideais para investigar a sua consequência sobre ambientes naturais (áreas de preservação ambiental) ou pouco alteradas pelo processo de urbanização (cultivos, pastagens e reflorestamentos em geral). Vaga-lumes também são importantes em muitas culturas, como no Japão e no Brasil. Por embelezarem a noite e serem apreciados pela população, estes “pirilampos”, como conhecidos popularmente, podem se tornar ícones para a conservação.

Os efeitos adversos da poluição luminosa carecem de uma investigação mais profunda. Um dos caminhos é através da seleção de bioindicadores. Os vaga-lumes constituem excelentes indicadores noturnos, pois dependem de sua luminescência para reprodução, sendo sensíveis a variações de iluminação ambiental (Lall *et al.*, 1980).

O Brasil, país com a maior biodiversidade de coleópteros bioluminescentes no mundo, constitui um sítio ideal para estes estudos de impacto de iluminação artificial sobre vaga-lumes. Somente na área do município de Campinas, há mais de 20 espécies adaptadas a diferentes habitats (Viviani, informação pessoal). Por ser um país em desenvolvimento, o Brasil tem a chance de evitar ou minimizar a

ocorrência destes impactos indesejáveis que já ocorrem em outros países hiper-industrializados. Eventualmente, este tipo de abordagem poderá ser utilizada em outros países.

Neste trabalho investigou-se os efeitos da poluição luminosa no novo *Campus* da Universidade Federal de São Carlos em Sorocaba, que constitui um local de estudo adequada, uma vez que foi construído recentemente e com iluminação artificial instalada em 2008, mas com registros de coletas de vagalumes a partir de 2006. Além deste *Campus*, outros bairros com iluminação recém instalada na região de Sorocaba podem constituir interessantes locais de investigação, uma vez que no estudo, diferenças significativas foram encontradas tanto quantitativamente quanto qualitativamente para as ocorrências de vagalumes.

2 OBJETIVOS

Este trabalho visa estudar os efeitos da iluminação artificial nas populações de vaga-lumes do *Campus* da UFSCar Sorocaba.

Objetivos específicos:

1. Analisar a biodiversidade de vaga-lumes em áreas pré-estabelecidas próximas e afastadas da iluminação artificial recém instalada dentro do *Campus*.
2. Quantificar as intensidades luminosas artificiais e naturais em diferentes fases da lua e condições de nebulosidade nos horários de atividade dos vaga-lumes.
3. Obter os espectros de bioluminescência das espécies de vaga-lumes coletadas e correlacionar com os espectros de iluminação artificial nos respectivos locais de coleta.
4. Fazer uma análise quantitativa e qualitativa das populações de vaga-lumes dentro do *Campus* e de suas ocorrências em diferentes condições de iluminação artificial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de estudo:

No *Campus* UFSCar, Itinga Sorocaba (23°34'53" S 47°31'28" W, 666 m acima do nível do mar), Sudeste do Brasil, foram determinados 3 transectos e uma área de coleta (Figura 1).

A região é caracterizada por clima tropical quente e úmido (Santos, 1999), com temperatura média anual de aproximadamente 20,7°C, e mensal superior a 20°C entre outubro e abril. As médias mensais térmicas e de pluviosidade são superiores a 22°C e cerca de 200 mm no verão, sendo a estação chuvosa (de novembro a março) e inferiores a 18°C e cerca de 30 mm no inverno, e a estação seca de abril a outubro, sendo a estiagem de junho a setembro (Prof. MSc. Fernando N. J. Villela, informação verbal, 13 de novembro de 2009). A cobertura vegetal não apresenta praticamente nenhuma formação de caráter primário, sendo resultado da ocupação dos solos e da evolução da paisagem que substituíram florestas por campos, os quais são interrompidos por matas altas, faxinais, cerrados e capoeirões (Santos, 1999). Os remanescentes de mata são todos pequenos (menores que 11ha) e carecem de espécies vegetais arbóreas de grande porte o que, associada a grande presença de cipós e lianas, configuram tipicamente uma área degradada (Rozza, 2003).



Figura 1. Mapa de vegetação sobre aerocarta 1:20.000 do *Campus* da UFSCAR de Sorocaba. Destaque para sítios de observação e fonte principal de luz artificial. (Fonte: Vetores e georeferenciamento de fragmentos de vegetação obtidos pelo Prof^o. MSc. Fernando Villela, e aerocarta).

Os transectos “P0”, “P1”, “P2” são caracterizados por serem transições entre pastagem de *Brachyaria* sp. E terminarem no início de pequenos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual em estágio inicial de regeneração (IBGE, 2003).

As espécies arbóreas ao final dos transectos foram identificadas com auxílio da Prof^a. Dr^a. Ingrid Koch, registrando-se a ocorrência predominante de árvores ≈ 7 -10m de *Lithraea molleoides* “aroeira-branca” (plantas perenifólias, heliófitas, pioneiras, com floração agosto-setembro e frutos em novembro-janeiro) e de *Zanthoxylum hasslerianum* “mamica-de-porca” (plantas decíduas, heliófitas, seletivas higrófitas, pioneiras, com floração maio-agosto e frutos setembro-novembro) (Lorenzi, 2002).

O transecto “P0”, mais próximo das fontes de luz, cruza grande parte de uma estrada de terra batida cercada por pastagem que acaba em um pequeno fragmento com menos de 10 m de largura. O transecto “P2”, mais afastado da fonte de iluminação, teve em seu final uma “aroeira-branca” de altura $\approx 10\text{m}$ em estágio final “morrendo” e parasitada, além de uma “mamica-de-porca” de altura $\approx 8\text{m}$ com grande quantidade de troncos e galhos podres no entorno. A área nomeada “brejo” está próxima a um corpo d’água, é mais afastada das instalações da UFSCar que os transectos e tem em seu entorno os mesmo tipos de cobertura vegetal, porém com maior presença de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (IBGE, 2003).

Escolhidos por sua relação com as fontes luminosas artificiais (holofotes do *Campus*), as áreas de amostragem estão: a $\approx 60\text{m}$ “P0”, a $\approx 150\text{m}$ “P1”, a $\approx 280\text{m}$ “P2” e a $\approx 840\text{m}$ ‘brejo’ dos holofotes; encontram-se posicionados em uma aerocarta georeferenciada (Figura 1).

Os holofotes utilizados neste estudo são os 4 holofotes de luz branca neon, modelo Osram Powersatur HQI-T com 400W da quadra poliesportiva, especialmente os 2 voltados aos fragmentos analisados, que entraram em funcionamento no mês de Agosto de 2009 e iluminam mais diretamente “P0” e “P1” respectivamente. Outras especificações sobre as lâmpadas estão no anexo II, figura 2 para distribuição espectral e anexo I d) para espectro de linha.

A presença de iluminação artificial no *Campus* é grande e variada: postes de vapor de sódio ao longo das pavimentações próximas aos edifícios de salas de aula e administração, iluminação interna das edificações (lâmpadas fluorescentes), luz de sinalização vermelha sobre caixa d’água além dos holofotes já descritos.

Também ocorre o “skyglow” (Harder, 2002), termo originário do inglês que significa literalmente “brilho do céu” empregado aqui por não possuir equivalência

em nosso idioma, que são fenômenos de poluição luminosa potencializados em noites nubladas proveniente de vários focos. No caso do *Campus*, são eles: cidade de Sorocaba à nordeste (normalmente coloração vermelho amarelada) e centros ou bairros próximos a oeste (coloração branca) e leste (vermelho amarelada).

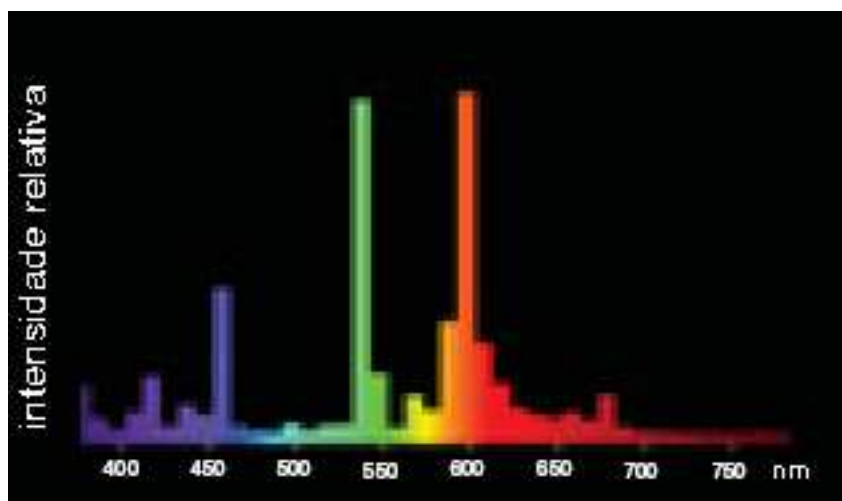


Figura 2. Distribuição espectral dos holofotes Osram HQI-T N (Fonte: Informações técnicas Powersatar HQI, Osram disponível em: <http://www.osram.com>)

3.2 Observações, coleta e identificação dos vaga-lumes:

3.2.1 Observações:

Foram realizadas 65 observações de campo com duração média de 1 hora e 30 minutos no período de Abril de 2008 até Novembro de 2009. Totalizando \approx 98 horas de observações.

Com o início da metodologia de transectos, implantada em Novembro 2008 e terminada em Novembro de 2009, foi realizado um total de 231 transectos em 37 dias, sendo destes:

- 71 transectos no ponto “P0”, onde 40 foram em dias com os holofotes da quadra desligados e 31 em dias com os holofotes ligados;
- 86 transectos no ponto “P1”, onde 48 foram em dias com os holofotes desligados e 38 em dias com os holofotes ligados;
- 74 transectos no ponto “P2”, onde 37 foram em dias com os holofotes desligados e 37 em dias com os holofotes ligados.

No ponto “brejo” foram realizadas duas horas de observação no dia sete de outubro de 2008 sem o uso de transectos.

3.2.2 Coleta e identificação dos vaga-lumes:

Os vaga-lumes em atividade foram identificados pelo padrão de lampejo (Tabela 1), através de protocolo estabelecido para estas espécies (Viviani, 2001).

Tabela 1. Padrão de sinalização e bioluminescência das espécies ocorrentes na área (Viviani, 2001)

Espécies	padrão	cor da luz	posição
<i>Photinus</i> sp1	flash simples	amarela	rápido, altura média
<i>Amydetes</i> sp5	contínuo	verde-azulado	lento, rasteiro
<i>Aspisoma lineatum</i>	flash bimodulado	verde	velocidade e altura mediana
<i>Aspisoma physonotum</i>	pulso	verde	velocidade e altura mediana
<i>Pyrogaster</i> sp1	longo crescente	verde	rápido, altura média
Elateridae	contínuo	verde	velocidade e altura mediana

Alguns vaga-lumes adultos foram coletados com puçá ao final do entardecer e a noite. Nove foram fixados em álcool 70% ou alfinetados e arquivados na coleção de referência (Prof. V. Viviani, UFSCAR), enquanto que a maioria foi identificada no campo e liberada. As espécies foram identificadas conforme a coleção de referência e com auxílio do Prof. Viviani.

3.3 Medidas de Luz ambiental:

As medidas de luz foram obtidas na unidade 'Lux' com fotômetro de campo SKL-310 (Skye Instruments Ltd. U.K.). Para espectro de sensibilidade ver anexo V. O sensor foi posicionado a 90° em relação à tangente da Terra com o auxílio de um nivelador a uma altura de 1,50m, após a estabilização da leitura determinou-se a intensidade de luz ambiental.

Para as medições da intensidade de poluição luminosa direta foram realizadas leituras direcionando o sensor às fontes de luz.

3.4 Determinação dos horários de atividades de vaga-lumes, das intensidades de luz e outras características ambientais:

Foram realizadas duas baterias de medições por semana em "P0", "P1" e "P2" sorteados aleatoriamente a cada 10 minutos. As medições se iniciaram após o horário de por do sol do dia, obtido pelo servidor on-line Infowheather (<http://infowheather.com>), e se prolongaram até o término ou redução significativa das atividades dos vaga-lumes (20 minutos sem atividade).

Para cada ponto foram registradas as intensidades luminosas, o horário, quantidade e qualidade de cobertura do céu (em oitavos) (Pretor-Pinney, 2008), temperatura, umidade relativa do ar, fase da lua, a atividade de vaga-lumes e espécies ativas.

3.5 Determinação quantitativa e qualitativa das atividades de vaga-lumes:

Os sinais bioluminescentes dos vaga-lumes de espécies já conhecidas (flash, pulso, lento-crescendo, brilho, etc) foram identificados baseados na experiência do orientador (Viviani, 2001), Para padrões novos ou não reconhecidos, os sinais foram primeiro catalogados visualmente para então capturar e identificar o emissor. Somente indivíduos adultos foram considerados. As larvas, apesar de brilharem, não foram consideradas.

O número de indivíduos ativos foi quantificado pela contagem dos encontros em transectos de 50x2 metros percorrido em aproximadamente 1 min para cada transecto em direção à mata e qualificados pela identificação do sinal bioluminescente. A reincidência de um mesmo indivíduo ou vários lampejos do mesmo durante o percurso do transecto foi contabilizada como uma ocorrência. A ordem dos transectos percorridos foi alterada aleatoriamente a cada dia de medição.

A metodologia dos transectos foi implementada no início de novembro de 2008 para “P0”, “P1” e “P2”. Nas observações anteriores, registrou-se apenas através de observação globais (panorâmicas) da área quais as espécies que ocorreram na noite.

3.6 Análises estatísticas:

Utilizou-se o software Bioestat 5.0® para a comparação realizada com o teste *t de student* de amostras independentes das médias entre os transectos à diferentes distâncias dos holofotes (de agosto a outubro de 2009) para estes apagados e acesos.

As linhas de tendência: polinomial de 2ª ordem (Figura 8) e logarítmica (Figura 10 e 11) e seus respectivos R^2 foram obtidas através do uso do software Microsoft® Office Excel 2003.

O uso de análises estatísticas mais complexas foi descartado nesta etapa uma vez que os valores de 'n' foram muito baixos, sendo valorizadas as análises estatísticas simples e apresentação dos dados.

3.7 Medição dos espectros de bioluminescência in vivo:

Foram utilizados dados publicados de espectro *in vivo* (Viviani & Bechara, 1995; Viviani, 2001) para se determinar os comprimentos de onda máximo das espécies ocorrentes no *Campus*.

Um exemplar de *Photinus* sp1 e um de *Phyrogaster* sp1 capturados foram fixados no interior do espectrofluorímetro Hitachi F4500 e estimulados com uma aplicação superficial de adrenalina 1:1000 na lanterna para a emissão constante de luz. A varredura dos espectros foi feita a 2400 nm/min entre 450-700nm (adaptado de Viviani & Bechara, 1995) e os dados foram comparados com as publicações anteriores.

4 RESULTADOS

O número total de ocorrências nos transectos, independentemente da espécie ou ponto, foi de 268 indivíduos, com temperaturas variando de 14,2 a 26,0°C e umidade relativa de 48 a 96%.

Nos pontos “P0”, “P1” e “P2”, representantes da família dos Lampyridae foram os mais encontrados, 258 dos indivíduos (96%) do total observado. Sendo representada pelas espécies: *Photinus* sp1, *Aspisoma physonotum*, *Aspisoma lineatum*, *Pyrogaster* sp1, e *Amydetes* sp5. *Photinus* sp1 (figura no Anexo III) foi a espécie mais numerosa com 219 indivíduos (81,7%, n=268).

Da família Elateridae foram observados nove indivíduos (3,4 %), de dois gêneros *Pyrearinus* e *Phyrophorus* com a ocorrência apenas da espécie *Phyrophorus divergens*.

Nenhum representante da família Phengodidae foi observado. Uma das ocorrências registradas não pode ser identificada (0,4%) sendo classificada como não participante de nenhuma das três famílias e enquadrada na categoria ‘outros’. A figura 3 mostra as quantidades absolutas dos grupos observados.

No ponto “brejo”, foram encontrados: *Aspisoma* sp2, *Pyrogaster* sp e *Bicellonychia lividipennis*, sendo a iluminação ambiental de 0,030 lux aos 100 minutos pós por do sol.

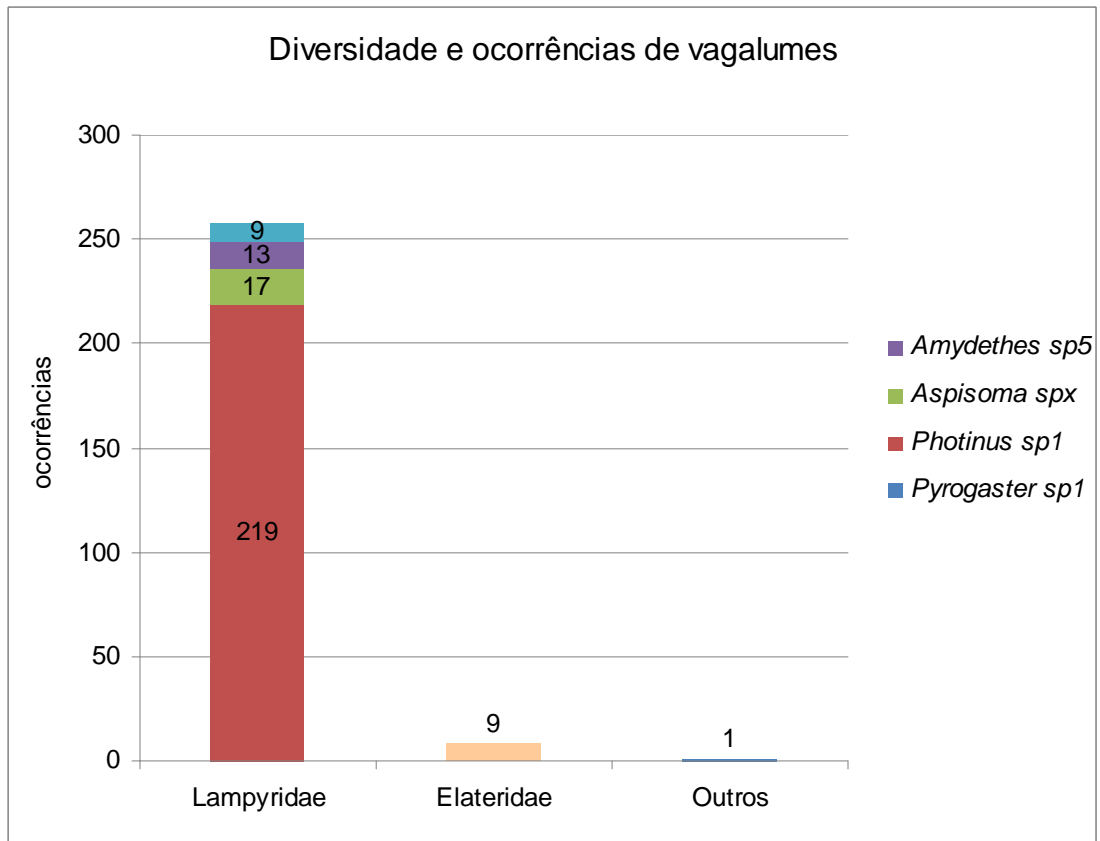


Figura 3. Número total da ocorrência de vaga-lumes e suas famílias no *Campus da UFSCar Sorocaba*. n=268 (total de ocorrências) com esforço amostral de 231 transectos.

Das 268 ocorrências, 196 (73,1%) foram registradas em dias com os holofotes apagados, sendo o esforço amostral para estas noites de 125 transectos e 72 (26,9%) das ocorrências foram registradas em dias com os holofotes acesos, sendo o esforço amostral para estas noites de 106 transectos (total de transectos = 231).

Os resultados obtidos para cada ponto e nas condições do holofote (apagado e aceso) estão organizados na tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos com a metodologia transecto para as espécies ocorrentes no *Campus* (nov/2008 a out/2009). 'n' corresponde ao número total de ocorrências nos pontos 'P0', 'P1' e 'P2' para as duas condições possíveis do holofote, amostras representa o esforço amostral contado pelo número total de transectos realizados nas condições relativas.

Estado dos Holofotes:	Aceso			Apagado		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2
<i>Photinus</i> sp1	1	17	38	35	59	69
<i>Amydetes</i> sp5	0	0	1	9	3	0
<i>Aspisoma</i> spx	1	3	9	0	2	2
<i>Pyrogaster</i> sp1	0	0	2	1	1	5
Elateridae	0	0	0	0	4	5
Outros	0	0	0	0	0	1
n (total indiv. observados)	2	20	50	45	69	82
amostras (nº de transectos)	31	38	37	40	48	37

A razão do número de indivíduos observados pelo esforço amostral em cada ponto e estado dos holofotes (Tabela 2) é ilustrada na figura 4. A porcentagem dos indivíduos de cada grupo ocorrentes em cada ponto e condição é mostrada na figura 5.

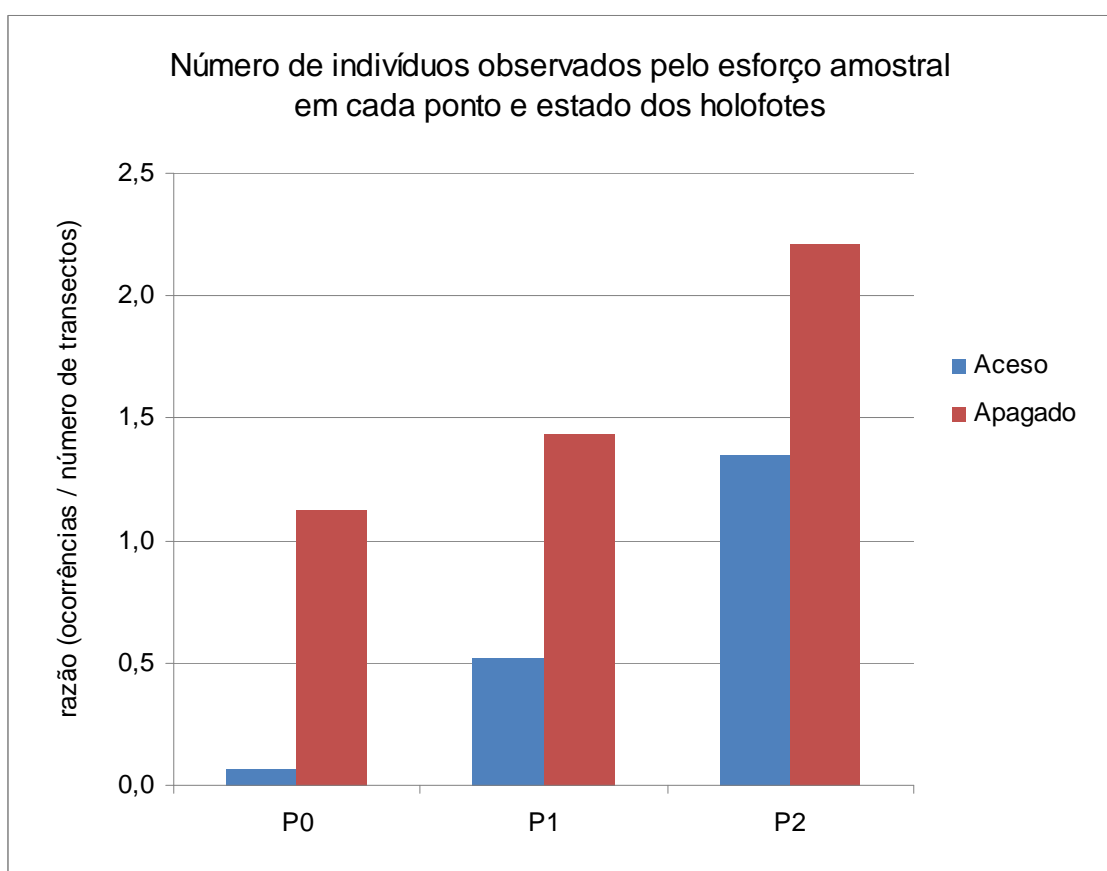


Figura 4. Número de indivíduos observados pelo esforço amostral nos pontos ('P0', 'P1', 'P2') em dias com os holofotes acesos e apagados. N=268, esforço amostral total = 231 transectos.

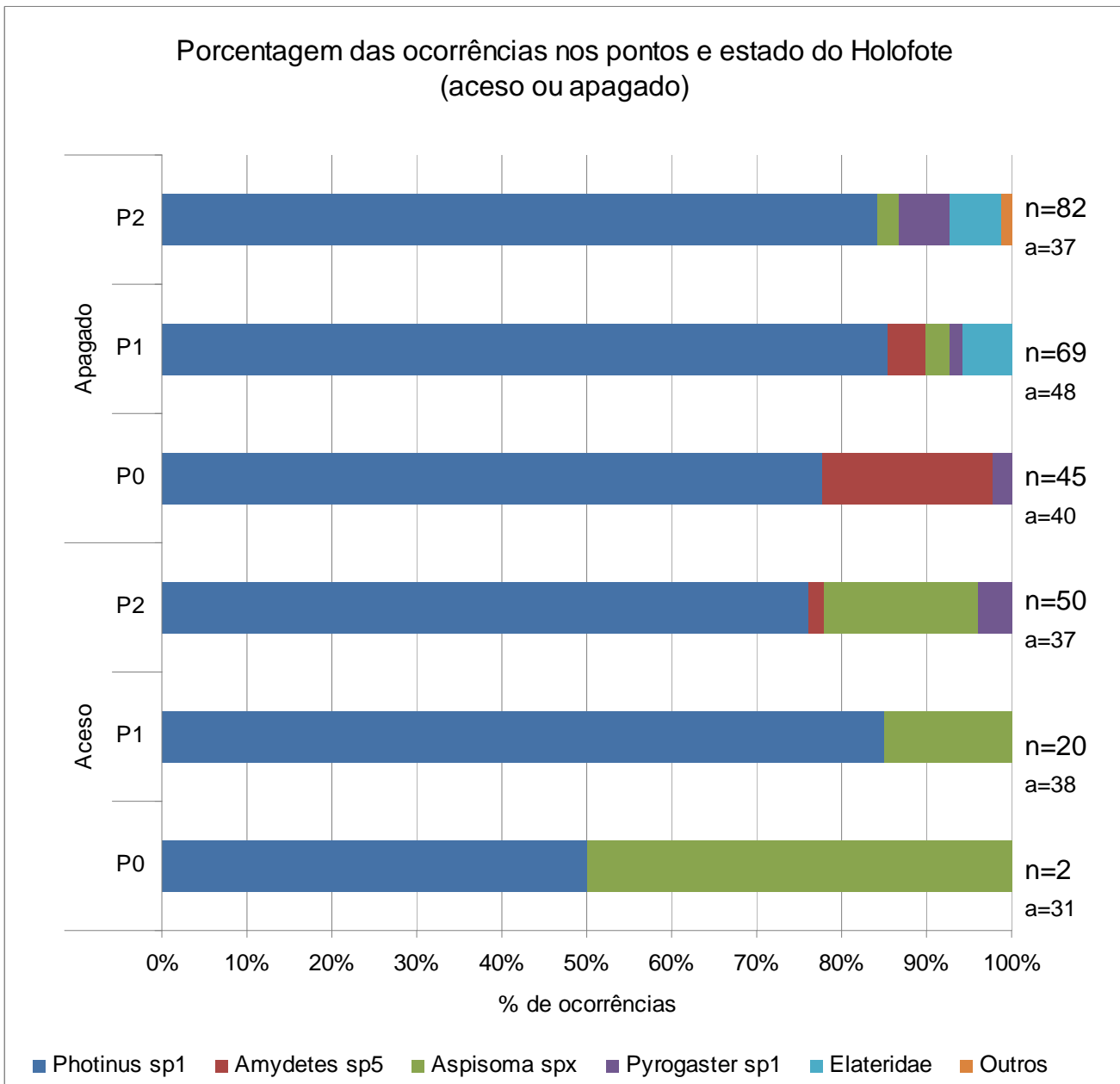


Figura 5. Porcentagens de ocorrência por ponto e estado dos holofotes para as espécies *Photinus* sp1, *Amydetes* sp5, *Aspisoma lineatum* e *Aspisoma physonotum* (*Aspisoma* spx), *Pyrogaster* sp1 representando os Lampirídeos, Elaterídeos e outros. 'n' representa o número de ocorrências total e 'a' o esforço amostral para cada barra respectiva.

4.1 Iluminação artificial (“P0”, “P1” e “P2”)

Os holofotes iluminam diretamente em 4,45lux o início do transecto “P0”, conforme medido pelo direcionamento do sensor à fonte luminosa. Do início dos

demais transectos mais afastados, “P1” e “P2”, não observou-se nem mesmo uma mínima alteração de lux comparando-se com as leituras de iluminação ambiental.

Para as medidas de iluminação ambiental (sensor a 90°) para as noites sem lua, com céu “limpo” (cobertura 0/8) aos 50 minutos pós-por do sol; com e sem os holofotes acesos no início do transecto P0, obteve-se os seguintes valores:

- holofotes acesos: 0.066 lux (± 0.031 ; 0.047 - 0.103) (n=3 dias) de iluminação ambiental;
- holofotes apagados: 0.003 lux (± 0.002 ; 0.001 - 0.006) (n=3 dias).

Sendo os números aqui representados como: ‘média’ (\pm ‘desvio padrão’; ‘valor mínimo’ – ‘valor máximo’).

O fenômeno de “skyglow” proveniente da cidade de Sorocaba foi medido, com o direcionamento do sensor ao clarão acima do horizonte, em diferentes dias e condições (Tabela 3).

Tabela 3. Dados registrados nos dias em que o fenômeno skyglow foi medido.

lua	nuvens			lux (90°)	lux (skyglow)	lux (skyglow-90°)
	categoria	tipos	cobertura			
-	altas	Cirrostratus	1/8	0,025	0,030	0,005
-	altas e baixas	Cumulus humilis, Cumulonimbus e Cirrostratus	6/8	0,001	0,005	0,004
-	altas e baixas	Cirrus stratus, Cumulus com pannus anexo	8/8	0,024	0,045	0,021
nova	altas	Cirrus stratus	8/8	0,006	0,015	0,009
-	média e baixas	Alto cumulus e Cumulus humilis	8/8	0,045	0,062	0,017

4.2 Iluminação natural (“P0”, “P1” e “P2”)

As medições aqui apresentadas ou utilizadas são de noites em que não se encontrou fonte de iluminação próxima, como por exemplo, os holofotes acesos.

O padrão de iluminação para os minutos após o por do sol estão na tabela 4 (anexo IV para gráfico) (n=191 medições realizadas em 41 dias diferentes ao longo do ano).

Tabela 4. Médias de luminosidade ambiental a cada 10 minutos após o por do sol.

Minutos após por do sol	Média lux	desvio padrão	lux mínimo	lux máximo	n (medições)
0	128,484	60,830	4,500	198,000	19
10	23,391	16,012	0,450	48,500	24
20	1,857	1,135	0,094	4,440	25
30	0,139	0,086	0,001	0,320	33
40	0,020	0,015	0,000	0,055	30
50	0,014	0,015	0,001	0,048	23
60	0,011	0,014	0,000	0,045	12
70	0,020	0,018	0,000	0,047	9
80	0,024	0,025	0,000	0,071	8
90	0,014	0,017	0,001	0,043	5
100	0,010	0,007	0,001	0,018	4

Para medidas de iluminação ambiental para os diferentes tipos de lua, em noites com os holofotes apagados, céu “limpo” e aos 50 minutos, obteve-se para todos os pontos:

0,005 lux ($\pm 0,002$; 0,002 – 0,006) (n=6) sem lua;

0,025 lux ($\pm 0,025$; 0,001 – 0,048) (n=4) lua nova, crescente, minguante;

0,037 lux ($\pm 0,001$; 0,036 – 0,037) (n=2) com lua cheia.

Para medidas de iluminação ambiental com céu “limpo” (cobertura 0/8) até o estado de céu “repleto” (cobertura 8/8) somente medições após os 50 minutos pós por do sol de noites sem lua foram utilizados (Figura 6)

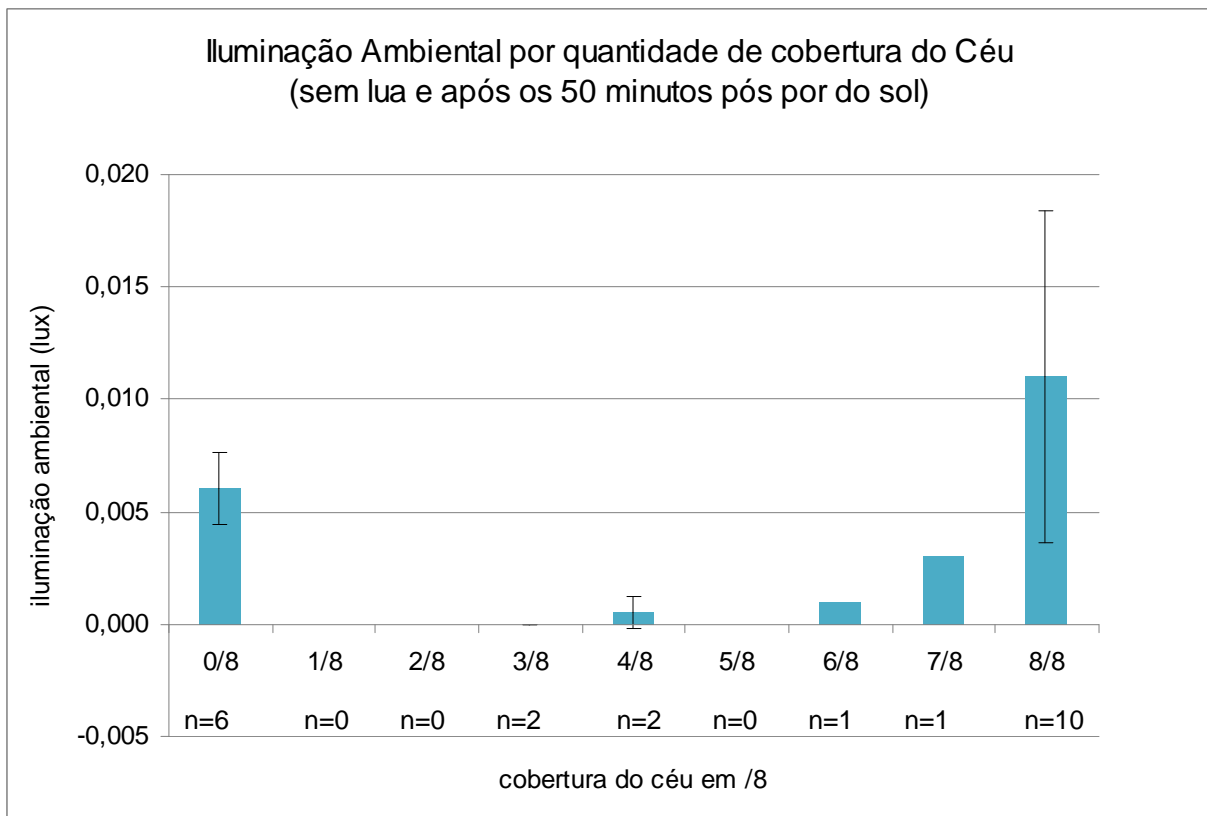


Figura 6. iluminação ambiental em lux relativa a cada “oitavo” de cobertura de nuvem para a céu, dados apenas após os 50 minutos pós por do sol sem presença de lua. ‘n’ é o numero de medições. Barras sem desvio padrão são o valor da medição (quando n=1). Para ‘1/8’, ‘2/8’ e ‘5/8’, n = 0. Para ‘3/8’ os dois ‘n’ mediram 0,000 lux.

4.3 Períodos e horários de atividade

Pelas observações de bioluminescência em campo (abril 2008 à novembro 2009), o período de atividade bioluminescente observada dos adultos é mostrada na tabela 5.

Tabela 5. Meses onde houve observação de atividade bioluminescente de cada espécie, gêneros ou família.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<i>Photinus</i> sp1	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■
<i>Amydetes</i> sp5	■	■							■	■		■
<i>A. lineatum</i> e <i>A. physonotum</i>								■	■	■		
<i>Pyrogaster</i> sp1		■	■							■	■	■
Elateridae	■	■									■	■

O padrão das ocorrências determinado pelos dados obtidos na metodologia de transectos para *Photinus* sp1 e atividade geral estão na figura 7.

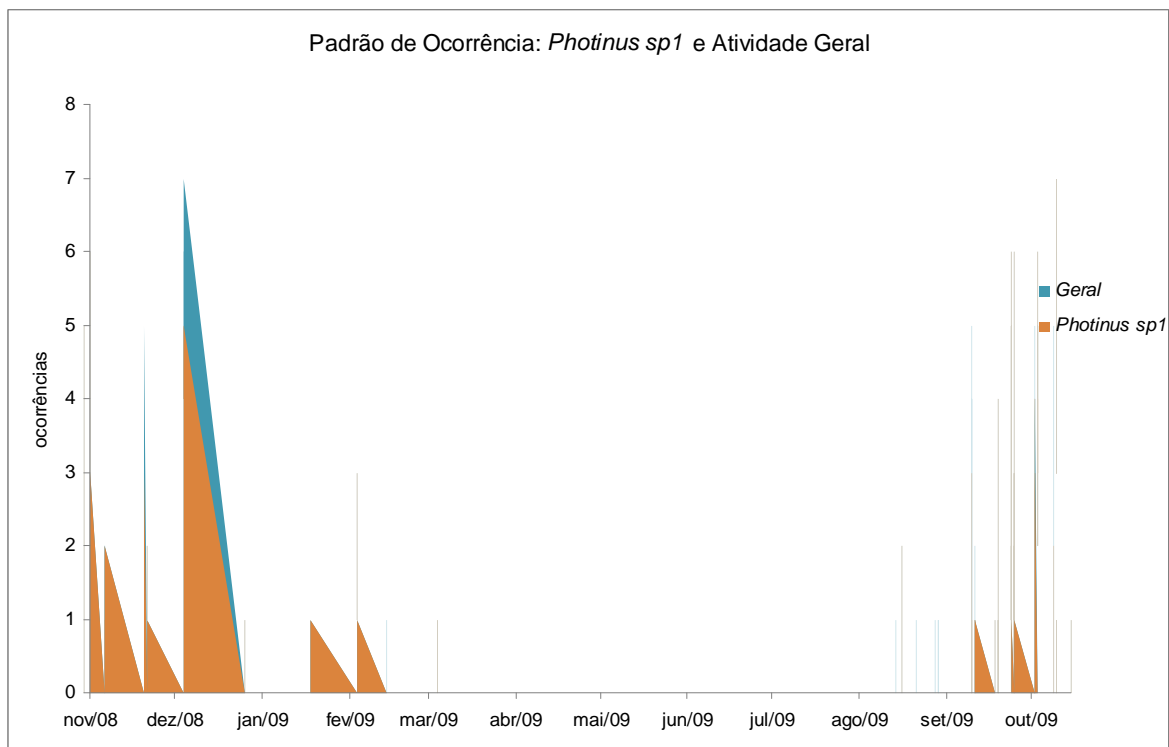


Figura 7. Ocorrência média de todos os vaga-lumes e de *Photinus* sp1 nos dias em que foram realizados transectos.

Os horários de atividade bioluminescente observados para o mesmo período em relação ao por do sol até 100 minutos são mostrados na tabela 6.

Tabela 6. Horários, em minutos pós-por do sol, onde houve observação de atividade bioluminescente de cada espécie, gênero ou família. "*" é o horário do por do sol (zero minutos).

	*	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	minutos
<i>Photinus</i> sp1													
<i>Amydetes</i> sp5													
<i>A. lineatum</i> e <i>A. physonotum</i>													
<i>Pyrogaster</i> sp1													
Elateridae													

Para *Photinus* sp1, a atividade por minuto pós por do sol foi calculada com a média das ocorrências nos horários de 22 dias distribuídos ao longo do período de novembro de 2008 a outubro de 2009 para noites sem lua e com os holofotes apagados (Figura 8).

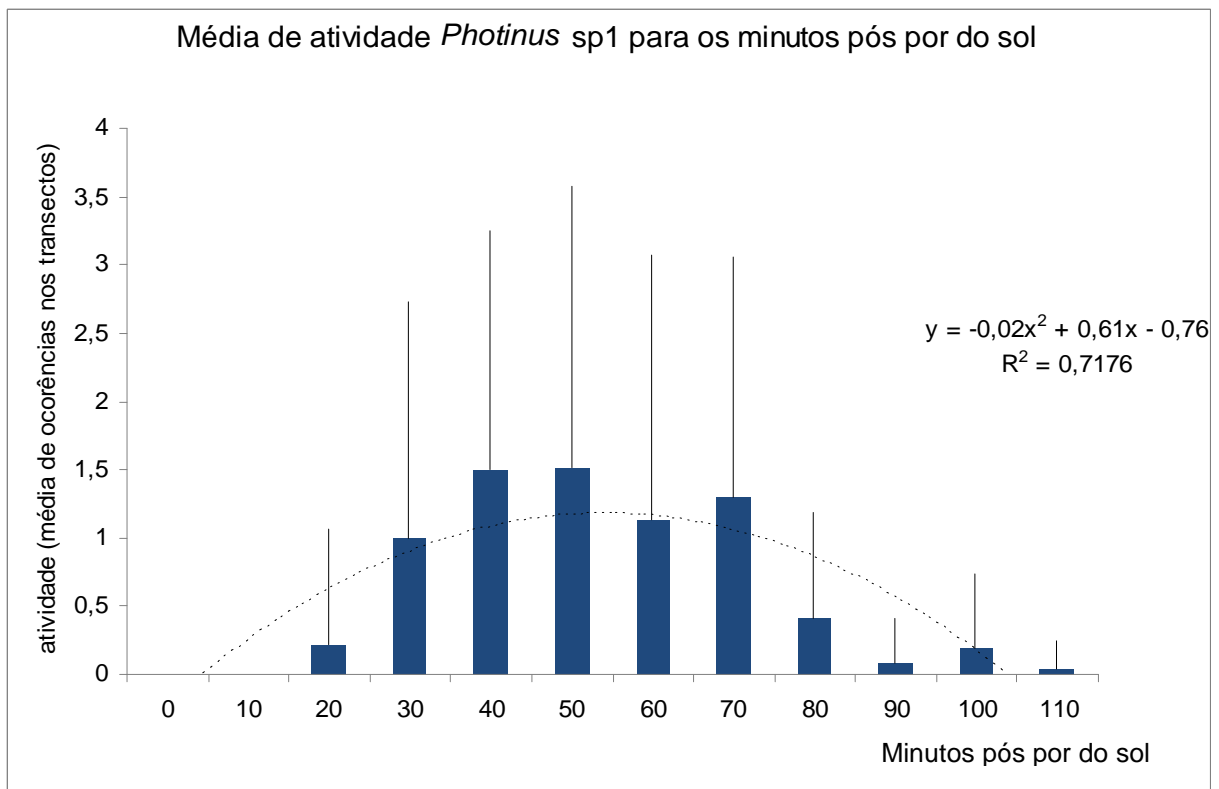


Figura 8. Atividade média de ocorrência por minutos após o por do sol para *Photinus* sp1, com barra de desvio padrão e linha de tendência polinomial de 2ª ordem.

4.4 Atividade bioluminescente e iluminação ambiental

A maior intensidade de iluminação ambiental em que se registrou alguma ocorrência de atividade bioluminescente, dentro dos transectos, foi a de 0,234 lux. Neste dia, 28 de agosto de 2009, com zero de cobertura e lua nova, aos trinta minutos pós por do sol, dois *Photinus* sp1 foram observados no “P2” estando os holofotes da quadra ligados. Não foi obtida nenhuma outra ocorrência nos transectos, porém no dia registrou-se atividade de *Aspisoma lineatum* aos 80 minutos (pós por do sol) próximo ao mesmo fragmento.

A figura 9 mostra as ocorrências, para cada espécie ou família encontradas, pela intensidade de iluminação ambiental. O intervalo de iluminação abrange zero lux até 0,234 lux (maior lux com registro de atividade bioluminescente). O valor do R^2 em cada gráfico é relativo à linha de tendência logarítmica. Para *Pyrogaster* sp1, *Aspisoma lineatum* e *Aspisoma physonotum* (*Aspisoma* spx) a escala de iluminação ambiental é reduzida para 0,05 lux.

Considerando-se somente o período pós-instalação dos holofotes (agosto e outubro de 2009), para as ocorrências médias de *Photinus* sp1 nos transectos “P0”, “P1” e “P2” juntos (Figura 10) e para cada um dos transectos ao longo do período (Figura 11) para os holofotes acesos (n=12 dias) e apagados (n=9 dias).

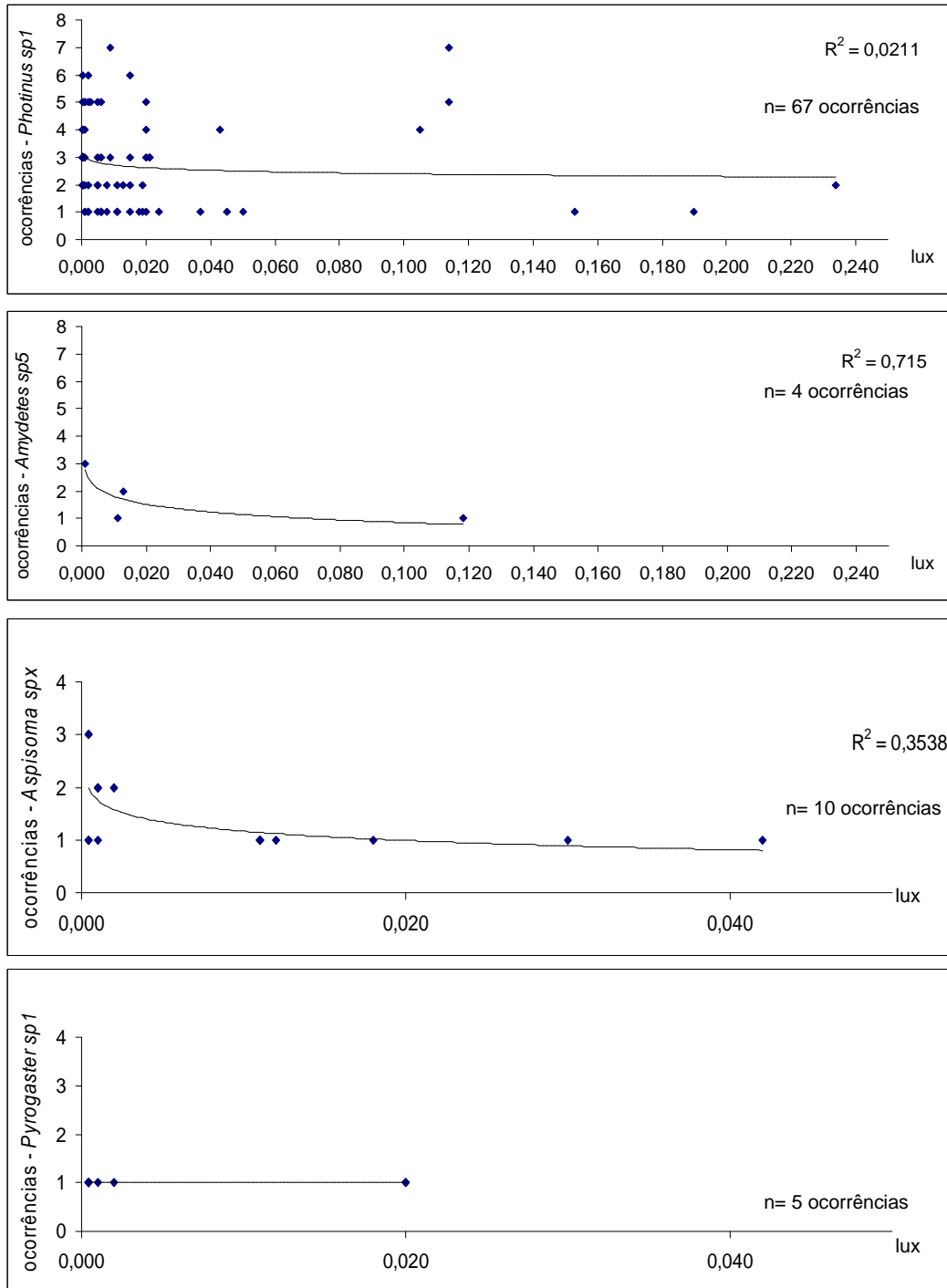


Figura 9. Ocorrências e o número de indivíduos ocorrentes nos transectos (eixo y), pela intensidade de iluminação ambiental respectiva.

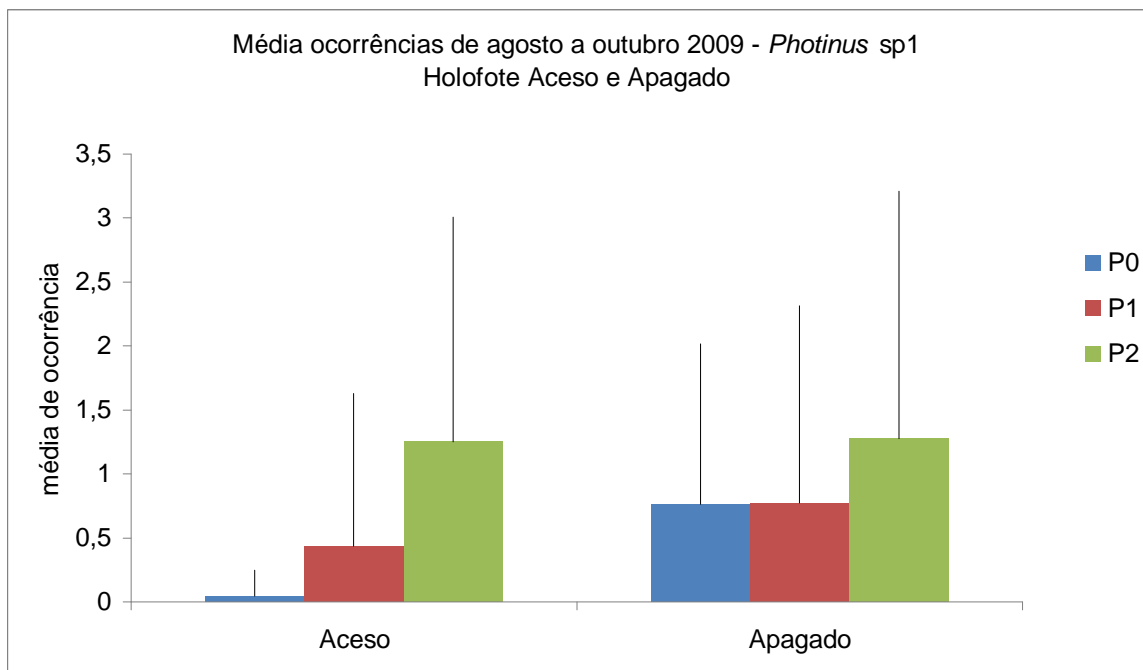


Figura 10. Média de ocorrências e desvio padrão para *Photinus* sp1 nos pontos 'P0', 'P1' e 'P2' para os meses de agosto a outubro de 2009 com os holofotes acesos (n=12 dias) e os holofotes apagados (n=9 dias).

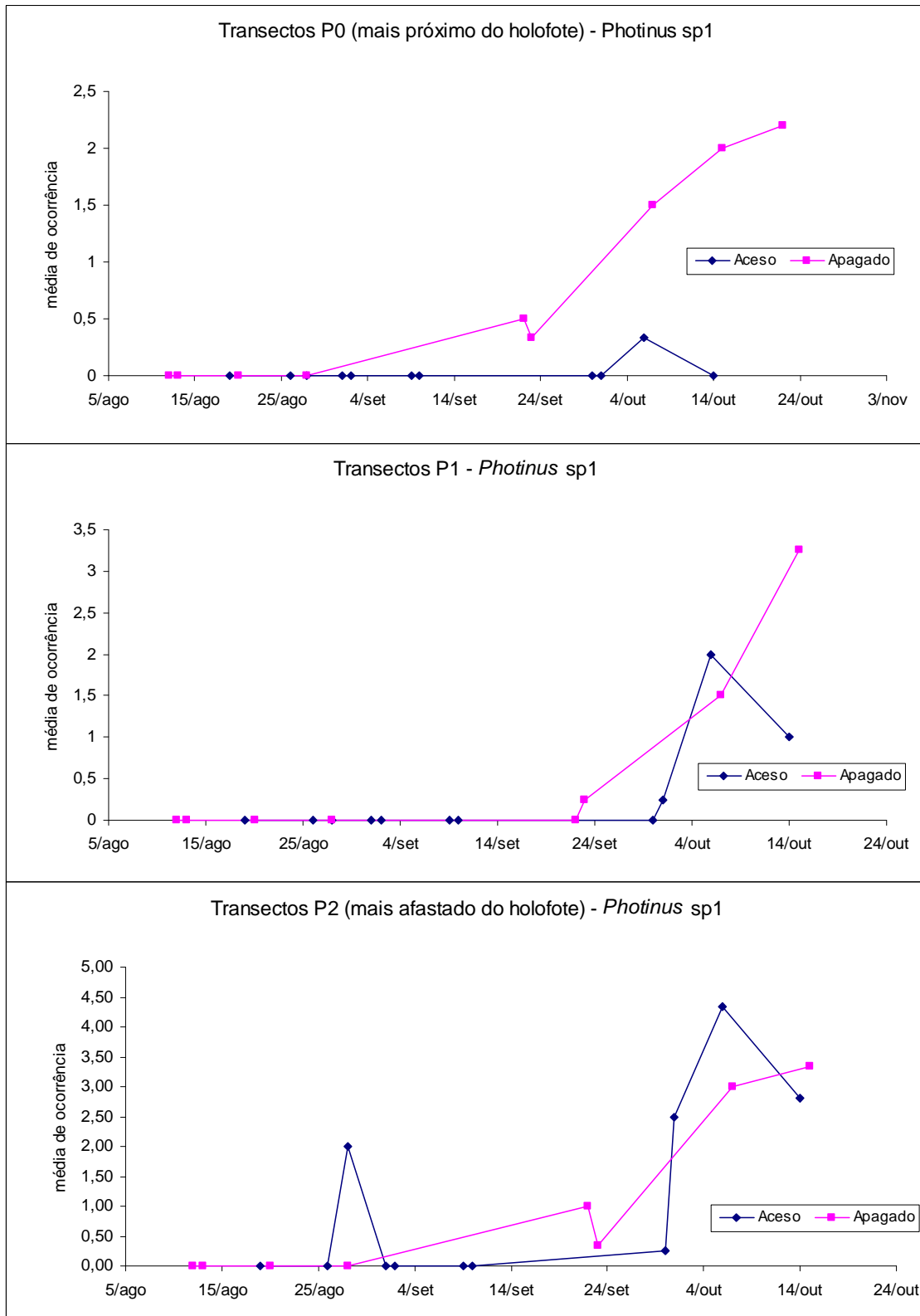


Figura 11. Média de ocorrência registradas nos transectos para cada ponto em dias com os holofotes acesos (n =12) e em dias com os holofotes apagados (n=9) de agosto a novembro de 2009

A diferença das médias entre os tratamentos holofote apagado e aceso para os transectos (do mais próximo ao mais afastado dos holofotes) para os meses de agosto a outubro de 2009 (Figura 10) e os resultados da análise estatística estão na tabela 7.

Tabela 7. Diferença entre os tratamentos (holofote aceso e holofote apagado) para *Photinus* sp1 para os meses de agosto a outubro de 2009.

	aceso (n)	apagado (n)	diferença das médias	teste t	p
P0	24	17	0,723	2,36	0,015
P1	30	22	0,339	0,89	0,187
P2	28	18	0,027	0,05	0,480

4.5 Espectros de bioluminescência

Os espectros de bioluminescência medidos pelo comprimento de onda máximo, ou λ_{\max} variaram do verde azulado ($\lambda_{\max} = 538$ nm) ao verde amarelado ($\lambda_{\max} = 571$ nm) em cinco espécies principais ocorrentes no *Campus* (Tabela 8).

Tabela 8. Espécies e seus espectros de bioluminescência λ_{\max} (comprimento de onda máximo) (Viviani & Bechara, 1995; Viviani, 2001).

Espécie	Espectro λ_{\max} (nm)	cor
<i>Photinus</i> sp1	571	amarelado esverdeado
<i>Amydetes</i> sp5	538	verde azulado
<i>Aspisoma physonotum</i>	561	verde
<i>Aspisoma lineatum</i>	563	verde
<i>Pyrogaster</i> sp1	559	verde

4.6 Outras observações

No dia 14 de outubro de 2009, com temperatura de 23°C, umidade relativa do ar 76%, sem presença de lua e nuvens no céu e com os holofotes ligados em todo período de observação, não se registrou nenhuma atividade de *Photinus* sp1 no transecto 'P0' durante toda a noite, porém notou-se atividade dos mesmos aos 50 minutos pós por do sol, logo após o fragmento, onde havia "sombra" (0,001 lux) dos holofotes, enquanto que no ponto "P0" os holofotes iluminavam o ambiente em 0,047 lux. No mesmo dia foram registradas as ocorrências de *Aspisoma physonotum* e *Pyrogaster* sp1 próximos ao "P2".

5 DISCUSSÃO

A espécie predominante no *Campus* foi o lampirídeo *Photinus* sp1, com maior amplitude de ocorrência observada tanto em relação aos meses de estudo (Tabela 5) quanto aos minutos pós por do sol (Tabela 6).

No entanto, as ocorrências durante as observações para as demais espécies foram muito pequenas para que se possa aferir qualquer padrão ou relação entre estas espécies. A grande abrangência de *Photinus* sp1 em relação a outras espécies pode não ser representativa para a área, pois, ainda que o registro de ocorrência da primeira tenha sido muito superior a todas as outras (96% do total) (Figura 4), as demais poderiam ter tido atividade bioluminescente em outros horários ou épocas não registradas.

O levantamento das espécies ocorrentes no *Campus*, quando comparado com levantamentos e observações do grupo de pesquisa no ano de 2007 (Tabela 9) demonstram que somente a ocorrência das espécies: *Bicellonychia ornaticollis*, *Photinus jenai*, *Aspisma* sp4, e *Cratomorphus. distinctus* e do Fengodídeo *Stenophrixotrix* sp não foi registrada para os últimos dois anos. Entretanto, muitas destas espécies são de brejo ou de habitats mais úmidos, sendo estes pouco visitados durante o trabalho. Tais problemas podem ser resolvidos com o aumento do número de dias, pontos observados e seqüência no trabalho por um maior período de tempo.

Tabela 9. Espécies de vaga-lumes ocorrentes na região de Sorocaba e seus respectivos habitats ano de 2007 (Fonte: Viviani et al., no prelo).

Família	Espécie	Habitat
Lampyridae	<i>Aspisoma physonotum</i>	campo/mata
	<i>Aspisoma neglectum</i>	campo
	<i>Aspisoma lineatum</i>	campo
	<i>Aspisoma</i> sp2	palustre
	<i>Aspisoma</i> sp4	
	<i>Cratomorphus concolor</i>	campo/mata
	<i>Cratomorphus</i> sp4	campo
	<i>Cratomorphus</i> sp2	brejo
	<i>Cratomorphus distinctus</i>	mata
	<i>Pyrogaster</i> sp1	mata
	<i>Bicellonychia lividipennis</i>	campo
	<i>Bicellonychia ornatcollis</i>	campo
	<i>Photuris</i> sp7	campo
	<i>Photinus</i> sp1	campo
	<i>Photinus jenai</i>	
	<i>Amydetes</i> sp1	campo
	<i>Amydetes</i> sp5	campo
Elateridae	<i>Pyrearinus candelarius</i>	mata
	<i>Pyrearinus micatus</i>	mata
	<i>Phyrophorus divergens</i>	mata
Phengodidae	<i>Stenophrixotrix</i> sp	campo

Mesmo o esforço amostral sendo diferente para os diversos transectos e estados dos holofotes (Tabela 2), assim como o fato dos últimos terem sido instalados este ano e as comparações se darem em épocas e anos distintas, a razão do número de ocorrências pelo esforço amostral (Figura 4) mostra uma tendência geral para aumento de atividade (ocorrências) com holofote apagado em todos os transectos e principalmente a quantidade crescente de ocorrências nestes: “P0”, “P1” e “P2” respectivamente; confirmada quando considerado somente o período pós instalação dos holofotes (agosto e outubro de 2009), para as ocorrências médias de *Photinus* sp1 (Figura 10).

Obteve-se apenas para “P0” um valor significativo na diferença entre as médias de ocorrência nos pontos para os holofotes apagados e acesos (Tabela 7). Apesar dos valores de ‘p’ pouco significativos para as áreas mais afastadas dos holofotes, as diferenças das médias (média de ocorrência com holofote apagado – média com holofote aceso) obtidas foram inversamente proporcionais à distância dos pontos a fonte luminosa, corroborando, de certa forma à hipótese de que a média de ocorrências reduza de maneira mais acentuada para os transectos mais próximos dos holofotes quando ligados.

O transecto “P2”, pode servir como controle na observação dos demais transectos e condições indicando que a iluminação artificial nas condições específicas causam uma diminuição na ocorrência dos vaga-lumes quanto mais próximo estiverem as áreas dos holofotes.

Tais evidências, mesmo que embasadas em um curto período de tempo ou espaço amostral pequeno (poucos dias medidos como possível causa de um valor ‘p’ pouco significativo), já nos permitem registrar possíveis conseqüências da iluminação artificial para com estas espécies.

Ao se separar a média de atividade para cada transecto (Figura 11), nota-se novamente a crescente diferença de atividade do mais afastado, “P2”, para o mais próximo dos holofotes “P0”; onde no decorrer dos dias, nenhum dia em que os holofotes estavam acesos mostrou atividade superior aos dias em que estes se encontravam apagados.

Em cada transecto observou-se uma menor diversidade de espécies quando os holofotes estavam acesos (Figura 5), que pode ser conseqüência da menor ocorrência registrada, e não significar necessariamente redução de biodiversidade com os holofotes acesos. Tal hipótese somente seria comprovada com a comparação dos estados e pontos durante todo um ano sob influência dos

holofotes, ou para vários anos consecutivos; uma vez que as espécies são ativas somente em determinados períodos do ano e o número de ocorrências para algumas áreas foi muito pequena.

Pode-se notar também que tanto com os holofotes apagados quanto com os holofotes acesos o transecto “P2” sempre apresenta uma maior diversidade (Figura 5) e número de ocorrências (Figura 4 e Figura 10) que “P1” e este com “P0”. Tal observação levanta a hipótese que os transectos sejam diferentes entre si independente dos holofotes estarem acesos ou não e assim devemos ser cautelosos ao comparar dados para com os transectos ignorando esta diferença nítida (caracterizados no item 3.1 “Locais de estudo”).

Explorando a diferença entre os transectos e suas conseqüências na diversidade e número de ocorrências, tem-se algumas observações sobre as particularidades de cada. O transecto “P0” se mostra o mais impactado por percorrer parte de uma estrada e desembocar em um fragmento muito fino e com conseqüente maior efeito de borda, o que pode explicar a ocorrência de menos espécies (espécies menos exigentes quanto a este fator). Já “P1” e “P2” são mais parecidos por cruzarem pastagem semelhante e terminarem em um mesmo fragmento (mais largo que o do “P0”), porém em lados diferentes (ver Figura 1). O lado que “P1” termina é mais próximo ao conjunto de construções e conseqüentemente aos holofotes da quadra, sendo levemente iluminado quando estes estão acesos. Já “P2”, além de estar na borda oposta e mais “escondida” apresentou uma característica importante que foi a de grande quantidade de troncos e galhos podres propícios as larvas.

Nestes troncos foram encontradas algumas larvas de vaga-lumes não identificadas e sobre a “aroeira-branca” (próxima aos troncos) foi observado constantemente uma concentração de *Aspisoma physonotum* que voavam em

grupos de 3 a 6 indivíduos sobre sua copa nos meses de agosto à outubro, com maior atividade no mês de setembro. A presença dos troncos e galhos podres pode explicar a superioridade quantitativa e qualitativa do transecto “P2” quando os holofotes estão apagados, além do fato de este se encontrar mais distante das construções e atividades antropicas, porém somente uma identificação das espécies de larva encontradas nos troncos e uma busca na região por outras larvas poderia comprovar tal especulação. Quando os holofotes estão acesos, a diferença relativa entre a média das ocorrências nos transectos “P1” e “P2” para *Photinus* sp1 (Figura 10) pode sugerir a influência dos holofotes ao transecto mais próximo “P1”. Comparados os dados do ano corrente com os holofotes apagados e acesos (Figura 10).

A interpretação da figura 6 nos permite evidenciar a presença de poluição luminosa no ambiente devido ao padrão diretamente proporcional do aumento de iluminação ambiental e quantidade de cobertura de nuvens (com exceção de 0/8 de cobertura) em noites sem lua. Se as únicas fontes de iluminação fossem as naturais: lua, quando presente, e as estrelas (Richard & Longcore, 2006), as nuvens as cobririam diminuindo assim a iluminação ambiental na medida em que a cobertura de nuvens aumenta. O aumento registrado da iluminação ambiental pode ser explicado pela capacidade das nuvens de refletir a luz gerada nas cidades ou bairros próximos. A média de iluminação dos 0/8 de cobertura sem lua até agora não foi explicada.

Registrar o padrão de comportamento de atividade pós por do sol, como o do *Photinus* sp1 (Figura 8) para as espécies ocorrentes é muito importante para se conhecer o padrão comportamental das espécies, possibilitando entender relações adaptativas de seu comportamento.

O padrão de atividade (Figura 8) com um R^2 relativamente bom para linha de tendência polinomial de 2ª ordem ($R^2 = 0,71$), coloca o pico de atividade de *Photinus* sp1 por volta dos 50 minutos pós por do sol, onde a redução da iluminação natural se estabiliza (ver Tabela 4 e Anexo IV). Este, naturalmente um horário com mínima iluminação do ambiente, reduz o nível de ruído (luz ambiental) na visualização do sinal emitido pelos seus potenciais parceiros sexuais (Lall et. al, 1980; Seliger, Lall, Lloyd & Biggley, 1982).

Mesmo possuindo seu pico em horário com baixa iluminação ambiental, sua atividade foi registrada desde apenas 20 minutos após o por do sol até os 100 minutos (Tabela 6) e apresenta emissão de luz amarelada $\lambda_{\max} = 571$ nm (Tabela 8), o que o colocaria, segundo Lall et. al. (1980) na categoria norte-americana de vaga-lumes com atividade durante o crepúsculo. Para a região estudada, um padrão tão nítido não foi observado.

Durante o crepúsculo em ambientes cobertos por vegetação e próximos a florestas, o espectro de luz ambiental predominante é o verde (Endler, 1993). Este espectro dominante apresenta um fundo inferente ou ruído, atrapalhando a detecção do sinal bioluminescente pelos parceiros sexuais principalmente em indivíduos com espectro de emissão semelhante ao meio. Assim, os indivíduos com maior capacidade de detecção de luz sob o ruído são aqueles que tem espectro de emissão diferente do verde pois possuem vantagem de discriminação de espectros emitidos entre o ambiente (considerando a probabilidade dos fótons do comprimento de onda seja absorvido pelo pigmento visual receptor, não levando em conta a otimização estrutural do olho dos vaga-lumes) (Seliger et. al, 1982; Lall & Lloyd, 1982).

No entanto, os vaga-lumes com estes espectros são menos sensíveis a bioluminescência na escuridão que aqueles com espectro de emissão verde

(Seliger *et. al.*, 1982). Tal evidência pode ser explicada, segundo Mc Farland e Munz (1975, *apud.* Seliger *et. al.*, 1982) pelo fato de o pico de emissão verde auxiliar a propagação do sinal pelas folhagens, que recusam tal espectro refletindo-o, podendo o sinal emitido ser mais facilmente notado pelo parceiro em condições de grande escuridão.

O espectro de emissão amarelada de *Photinus* sp1 pode levantar a hipótese para o sucesso deste frente ao registro de ocorrências em relação a outras espécies (Figura 3) presentes no *Campus*. Tal área possui recente histórico de iluminação artificial mais intenso com entorno tradicionalmente iluminado (próximo à cidade de Sorocaba). Portanto, revela-se necessário o uso de um ponto de controle externo, em área com entorno historicamente menos iluminado e com características de clima e vegetação semelhante, para estudos futuros com mesma metodologia que pretendam confirmar tal hipótese.

Comparando-se a distribuição espectral dos holofotes (Figura 2) com os comprimentos de onda máxima de algumas espécies mais ocorrentes no *Campus* (Tabela 8), onde todas as medições de espectro *in vivo* realizadas foram equivalentes aos espectros medidos em estudos anteriores (Viviani & Bechara, 1995; Viviani, 2001), tem-se a figura 13 abaixo:

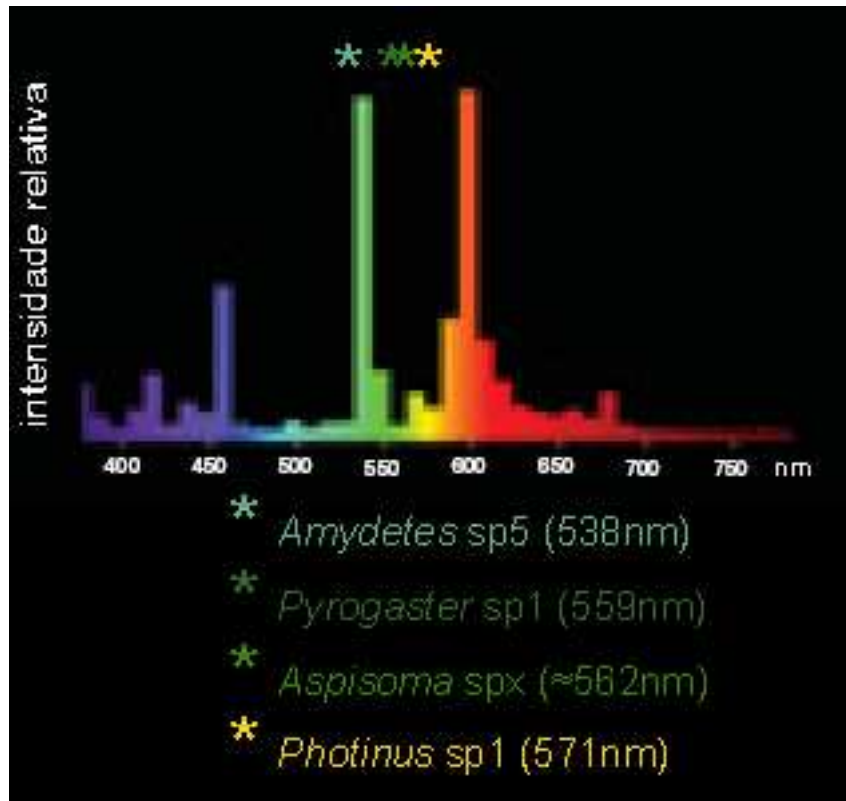


Figura 12. Sobreposição dos espectros de emissão máxima de algumas espécies ocorrentes no *Campus* no gráfico de distribuição espectral dos holofotes Osram HQL-T N (Fonte: Informações técnicas Powersatar HQL, Osram disponível em: <http://www.osram.com>)

As espécies se encontram em sua maioria entre os dois picos de emissão espectral dos holofotes. Nota-se que os picos podem estar próximos ao espectro de espécies adaptadas ao crepúsculo segundo Lall *et. al.* (1980). O espectro destas lâmpadas tem linhas intensas na região do verde (530-550nm) e laranja (590-600nm), que coincidem com o pico do espectro de bioluminescência de *Amydetes sp5* e *Pyrogaster*, enquanto apenas uma linha de baixa intensidade no amarelo encontra-se coincidindo com o pico de bioluminescência de *Photinus sp1*. Isto poderia sugerir uma razão pela qual esta ultima espécie pareça ser menos afetada que as demais, porém o número de ocorrências das demais não é suficiente no momento para se comprovar tal hipótese.

Cabe aqui avaliar também a intensidade do holofote, além das emissões ultravioletas (100 -400 nm), pois provavelmente têm influência sobre estas

espécies (Richard & Longcore, 2006), mas esta informação não é fornecida pelo fabricante das lâmpadas.

Uma vez que o fotômetro de campo capta apenas a intensidade de espectros específicos (Anexo V), estando este próximo ao verde (550 nm) no pico de intensidade se aproximando do azul (460 nm) a medida que a intensidade decai, a medição realizada não foi a mais adequada, pois esta deveria ser feita com um espectrômetro de campo, onde as intensidades de cada faixa de espectro são medidas. No entanto, pela falta de recursos, as intensidades espectrais específicas medidas foram extrapoladas para todos os demais espectros.

Outra necessidade para continuação e enriquecimento do trabalho seria o estudo do comportamento dos vaga-lumes, como horários de atividade e ocorrências com os tipos de lua sem interferência de iluminação artificial direta, a fim de compreender seus padrões de comportamento frente a uma fonte de iluminação natural oscilante. Tal comparação não foi possível de ser realizada uma vez que um ou dois anos não foram suficientes para se determinar padrões comportamentais por estes dependerem de épocas do ano que nem sempre possuem o mesmo padrão de lua.

Porém, independentemente de qualquer possível padrão ou adaptação para evitar interferências provenientes de fontes luminosas naturais, é importante ressaltar que a iluminação ambiental no "P0" em noites que os holofotes estão acesos é 2 vezes mais forte que a média das noites com lua cheia e sem cobertura de nuvens, além de outras interferências como os fenômenos "skyglow" no entorno e o posicionamento atípico de fontes luminosas artificiais.

Observando os gráficos de distribuição de atividade por intensidade de iluminação ambiental (Figura 9), especificamente o relativo ao *Photinus* sp1 por apresentar um 'n' maior, nota-se que 91,1% das ocorrências se concentram abaixo

dos 0,060 lux de iluminação ambiental, valor este atingido no 'P0' quando os holofotes da quadra estão acesos, este fato pode representar a inibição de sua atividade sob alta iluminação ambiental, mas é necessário um tempo maior de estudo, principalmente para as espécies pouco ocorrentes, para que se possa determinar algum padrão.

Pode-se especular que espécies como o *Aspisoma physonotum*, *Aspisoma lineatum* e *Pyrogaster* sp1 devam sofrer mais com o aumento da iluminação ambiental no *Campus* nos próximos anos. Tal especulação deve-se ao fato de o espectro de luminescência mais próximo ao verde (dominante no ambiente artificialmente iluminado) e a restrição a baixas iluminações ambientais para atividade observadas (Figura 9), mostrando assim suas maiores exigências quanto aos níveis de iluminação ambiental.

Com um esperado futuro de maior volume de dados, análises estatísticas mais complexas deverão ser utilizadas.

6 CONCLUSÃO

O estudo mostra que áreas do *Campus* mais expostas a iluminação artificial apresentam menor diversidade e atividade de vaga-lumes. Para *Photinus* sp1 a iluminação direta à ≈ 60 m provoca redução significativa na atividade bioluminescente do mesmo. Somente estudos mais extensos e profundos poderão elucidar o significado e o impacto ecológico desta observação.

Por grande ocorrência na área, lampirídeos podem ser utilizados como bioindicadores da fotopoluição na região.

Medidas simples como a colocação de anteparos metálicos nos holofotes, concentrando assim a iluminação à área a ser iluminada, e manter os holofotes acesos quando realmente estiverem sendo utilizados podem diminuir a iluminação desnecessária. Os impactos da utilização desnecessária ou inadequada de tecnologias sobre outros seres vivos que dividem com nós o direito a vida devem ser repensados e continuamente avaliados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, M., E. **Dark skies for all.** Sixth European Dark-Skies Symposium. Portsmouth. DOI InterScience 2006.
- DECOCK, R.; MATTHYSEN E. **The adaptive value of luminescent behaviour in glow-worms (Coleoptera: Lampyridae).** PhD Thesis. Antwerpen. p. 7-21; 43-77. 2004.
- ENDLER, J. A. **The Colors of Light in Forests and its Implications.** Ecological Monographs. Ecological Society of America. Vol. 63. No 1., 1993.
- GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os Insetos: Um resumo de entomologia.** São Paulo. Ed. 3, Roca 2007.
- HARDER, B. **Deprived of darkness.** Science News v. 161. p. 248-249. 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 2003.
- LALL, A. B.; LLOYD, J. E. **Spectral sensitivity of the compound eyes in two day-active fireflies (Coleoptera: Lampyridae: Lucidota).** Journal of Comparative Physiology A 166:257-260, 1989.

LALL, A. B.; LORD, E. T.; TROUTH C. O. **Vision in the Firefly *Photuris lucicrescens* (Coleoptera: Lampyridae): Spectral Sensitivity and Selective Adaptation in the Compound Eye.** Journal of Comparative Physiology A.147:195-200, 1982.

LALL, A. B.; SELIGER, H. H.; BIGGLEY, W. H.; LLOYD, J. E. **Ecology of Colors of Firefly Bioluminescence.** American Association for the Advancement of Science. Vol. 210. pp. 560-562. 31 October 1980.

LLOYD, J. E. **Sexual selection in luminescent beetles.** University of Florida, Academic Press, 1979

LLOYD, J. E. **Where are the lightningbugs?** Fireflier Companion 1: 1-2. 1993.

LLOYD, J. E.; **Stray Light, Fireflies, and Fireflies.** In: RICHARD, C.; LONGCORE, T. **Ecological Consequences of Artificial Night Lighting.** USA: Island Press p. 345-364, 2006.

LLOYD, J. E.; WING S. R.; HONGTRAKUL, T. **Ecology, flashes, and behavior of congregating thai fireflies.** BIOTROPICA v. 21(4) p. 373-376. Florida: 1989.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras - Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** Vol 1. 4^a ed. Instituto plantarum, Nova Odessa, SP, 2002.

MOLENAAR, J. G.de; JONKES, D. A.; SANDERS, M. E. **Road illumination and nature. III Local influence of road lights on a black-tailed godwit population.** DWW Ontsnipperingsreks dell 38 A, Delf 2000.

PRETOR-PINNEY, G. **Guia do Observador de Nuvens.** (FIGUEIREDO, C. , trad.).Rio de Janeiro: Intrínseca, 2008.

RALCHENKO, Y.; KRAMIDA, A. E.; READER, J.; : **NIST Atomic Spectra Database.** V3. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD., U.S.A: 2008. Disponível em: <<http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/index.html>> Acesso em: nov, 2008.

RICHARD, C.; LONGCORE, T. **Ecological Consequences of Artificial Night Lighting.** USA: Island Press 2006.

ROZZA, A.F. **Manejo e regeneração de trecho degradado de floresta estacional semidecidual: Reserva Municipal de Santa Genebra, Campinas/SP.** 140p. Tese (doutorado em Ciências Biológicas, área de Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, Brasil, 2003.

SANTOS, E.O. **A industrialização de Sorocaba: Bases Geográficas.** São Paulo: Humanitas FFLCH/USP, p.40-68,1999.

SELIGER, H.H.; LALL, A.B.; LLOYD, J.E.; BRIGGLEY, W.H. **The Colors of Firefly Bioluminescence. I. Optimization Model.** Pergamon Press. Photochemistry and Photobiology. Vol. 36, pp. 673 - 680, 1982.

VIVIANI, V. R. **Fireflies from Southeastern Brazil: habitats, life-history and bioluminescence.** Annals of Entomological Society of America, v. 94, p. 129-145, 2001.

VIVIANI, V. R. **The origin, diversity and structure function relationship of insect luciferases.** CMLS: 2002.

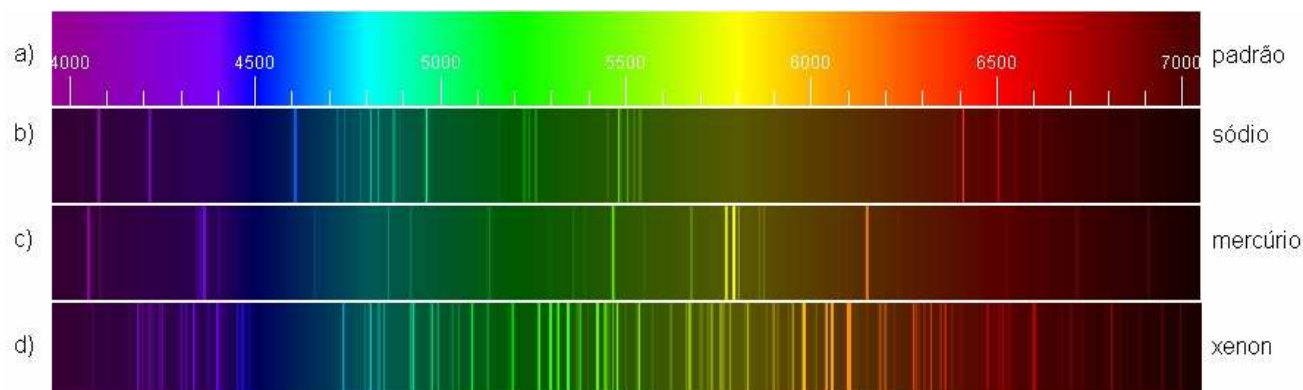
VIVIANI, V. R.; BECHARA, E. J. H. **Bioluminescence of Brazilian Fireflies (Coleoptera: Lampyridae): Spectral Distribution na pH Effect on luciferase-elicited colors. Comparison with elaterid and phengodid luciferases.** Photochemistry and Photobiology. American Society for Photobiology. Vol. 62. No 3. pp. 490-495, 1995.

WING R. S. **Female monogamy and male competition in *Photinus collustrans* (Coleopteran: Lampyridae).** Departament os Entomology and Nematology. University of Florida Reprinted from PSYCHE, v.91 n^o 1-2 p.153-160. Gainesville, Florida: 1984.

WITHERINGTON, E. B. **Behavioural responses of nesting sea turtles to artificial lighting.** Herpetologica. v. 48 p. 31-39: 1992.

ANEXOS

Anexo I. Espectros de linha dos principais elementos que compõem a iluminação local emitidos em descarga de gás. a) padrão, b) sódio, c) mercúrio, d) xenon.



(Fonte: NIST Atomic Spectra Database. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD., U.S.A)

Anexo II. Especificações técnicas das lâmpadas instaladas nos holofotes da quadra poliesportiva do *Campus*

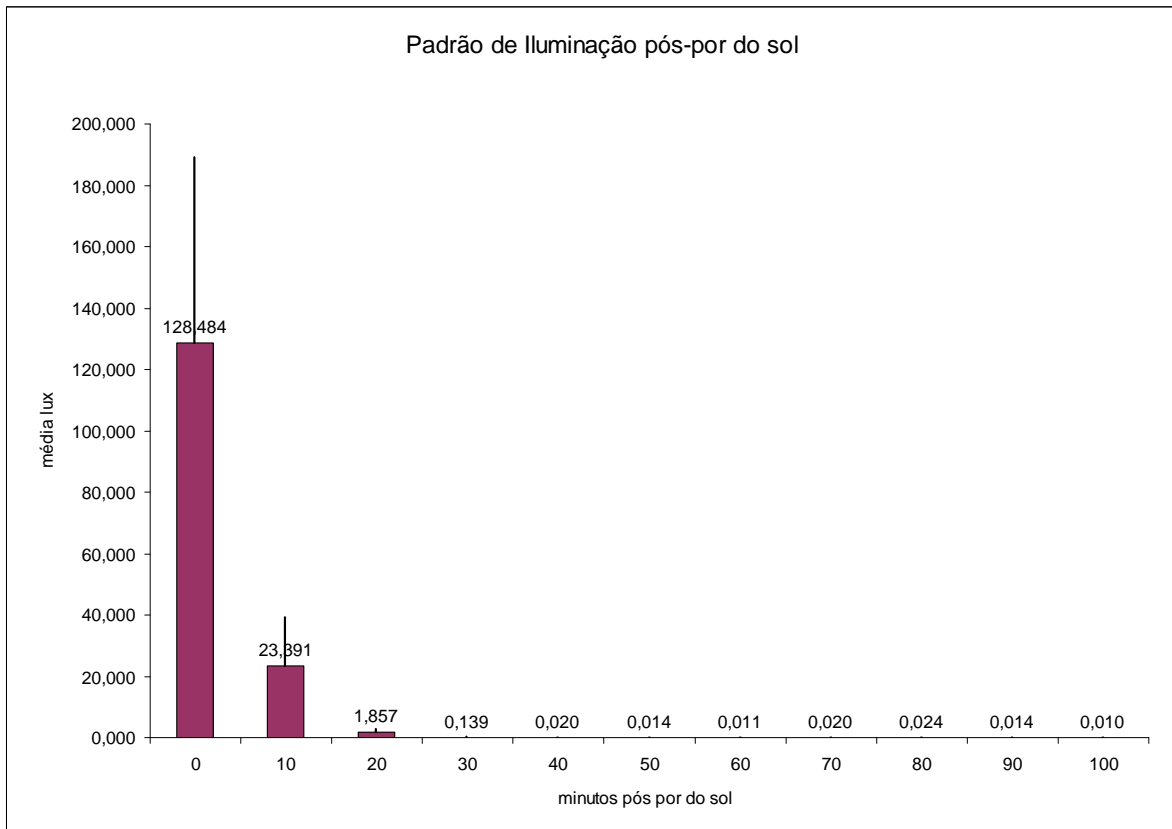
Especificações Técnicas	
marca	Osram
modelo	Powerstar HQI-T 400
tipo	tubular metálico
potência	400W
rending index da cor	>60 Ra
temperatura da cor	4000 k (amarela esverdeada)
fluxo luminoso	30500Lm
base	E 40
dimensões	47x283mm

(Fonte: Informações técnicas Powersatar HQI, Osram disponível em: <http://www.osram.com>).

Anexo III. Fotos de *Photinus* sp1 coletado no *Campus* a) dorso, b) ventre.



Anexo IV. Padrão de iluminação ambiental no por do sol para a área estudada (UFSCar *Campus Sorocaba*), média de lux (valores sobre a barra) por minutos pós-por do sol e desvio padrão.



Anexo V. Espectro de sensibilidade do fotômetro de campo SKL-310 (Fonte: Manual Técnico Skye Instruments Ltd. U.K.)

