

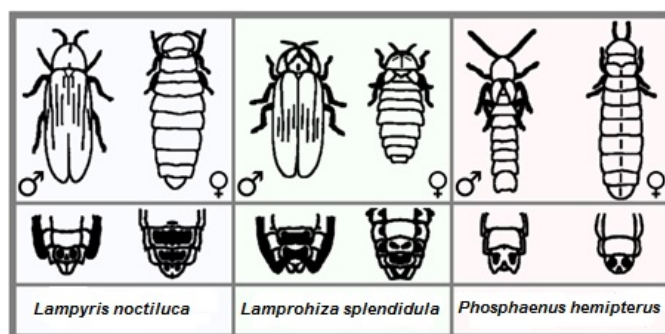
Informação Fundamental

Bioluminescência: combinando biologia, química e biônica

Lampyridae na Europa

Com apenas três espécies na Europa central, Lampyridae são uma das famílias de besouros mais pequenas.^[1] As larvas de Lampyridae eclodem no solo e atacam caracóis e lesmas.^[2] Os adultos não comem e morrem logo após a cópula/deposição dos ovos.^[3]

O sinal de luz emitido é específico de cada espécie e serve para atrair o parceiro de acasalamento.^[4] As espécies da Europa central têm duas formas de comunicação. A fêmea *Lampyris noctiluca* emite luz para encontrar um parceiro de acasalamento entre junho e setembro. Com sua cor acastanhada e sem asas, quase se assemelha a uma larva. Os seus principais órgãos luminosos estão localizados abaixo do sexto, sétimo e oitavo segmento abdominais.^[2] Machos e fêmeas *Lamprohiza splendidula* desenvolveram sinais de acasalamento específicos da espécie, entre junho e julho. Os machos permitem que os seu sexto e sétimo segmentos abdominais emitam luz com um padrão específico, que é captado por uma fêmea receptiva disposta a copular. As fêmeas vivem no chão. Eles não podem voar e têm aparência de larva devido à sua cor amarelo-acastanhada.^[2] A última espécie, *Phosphaenus hemipterus*, tem os órgãos emissores de luz pouco desenvolvidos. Machos e fêmeas não podem voar e quando são adultos têm um ligeiro brilho. Conseguem encontrar e atrair um parceiro para o acasalamento utilizando feromonas sexuais.^[5]



Desenho esquemático das três espécies de Lampyridae que habitam na Europa central (Com base na Ref. [6]).
Imagem cedida por Marcel Hammann

O fotóforo

O fotóforo pode ser encontrado ao fundo do último segmento do abdômen da Lampyridae. A sua parte visível consiste no chamado fotocito. Uma camada não transparente das células, que funciona como refletor, está localizada por detrás da camada de fotocitos. Os fotocitos estão dispostos de forma cilíndrica ao redor da rede traqueal. Os grânulos localizados no meio da cada

fotócito armazenam luciferase e luciferina.^[2] A emissão de luz pode ser regulada por impulsos nervosos e depende dos níveis de oxigênio dentro do fotócito. As mitocôndrias dos fotócitos estão localizadas perto da rede traqueal, que transporta oxigênio. Assim, as mitocôndrias normalmente usam quase todo o oxigênio que seria necessário para iniciar as reações de emissão de luz devido a luciferina armazenada nos grânulos no centro do fotócito. Por meio de um impulso nervoso, o monóxido de nitrogênio é emitido, o que, por sua vez, reduz a captação de oxigênio pelas mitocôndrias. Dessa forma, o nível de oxigênio aumenta e inicia a oxidação catalisada enzimaticamente da luciferina nos grânulos.^[2]

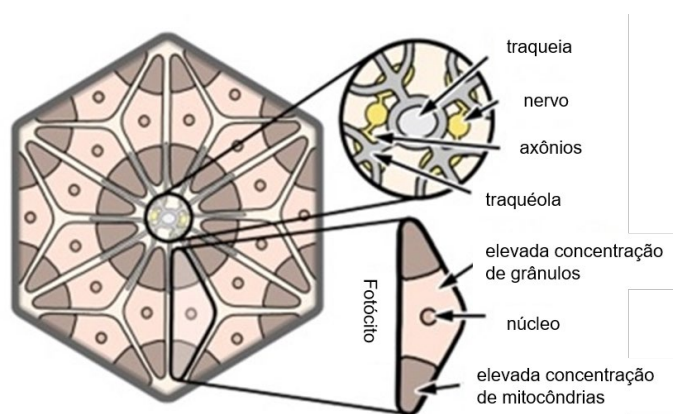
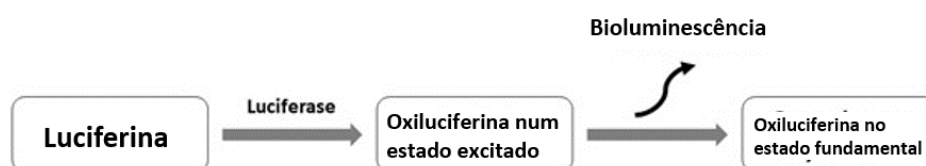


Ilustração esquemática de um fotóforo com fotócitos dispostos de forma cilíndrica ao redor da rede traqueal. Imagem cedida por Marcel Hammann

Luminescência

Na luminescência, a energia é emitida na faixa de comprimentos de onda do visível por meio da oxidação de um luminóforo.^[7] De uma forma simplificada, um dos produtos da reação não atinge diretamente o nível de energia final da reação. A luciferina é oxidada, formando oxiluciferina que fica temporariamente num estado excitado e emite luz quando decai para o estado fundamental. Ao contrário da fluorescência ou fosforescência, que recebem energia da luz, a energia de excitação na luminescência é a energia química. A bioluminescência é um tipo específico de quimioluminescência, em que os processos são catalisados enzimaticamente em organismos vivos.

No caso da luciferina – luminóforo que pode ser encontrado em muitos fotóforos de besouros emissores de luz – a luciferase catalisa sua oxidação por meio da estabilização do complexo reativo luciferina–adenosina monofosfato (AMP).^[8] Através da oxidação, uma molécula de dióxido de carbono é liberada e a molécula de oxiluciferina resultante atinge um estado de energia mais alto. Ao emitir um fóton, o luminóforo atinge então o estado fundamental da sua forma oxidada.



Reação simplificada de emissão de luz da luciferina ao nível molecular (baseado na Ref. [8]). Imagem cedida por Carolin Zehne



Fotóforos da Lampyridae e dos LEDs

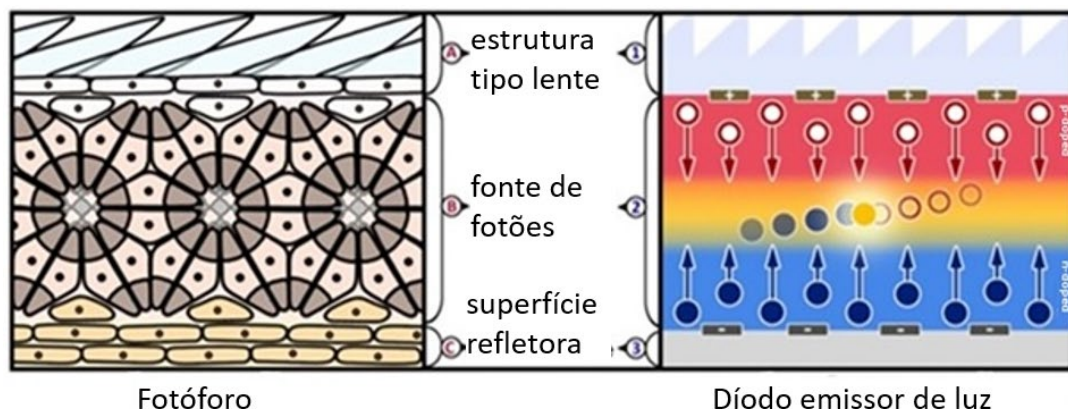
A luz criada nos fotóforos tem que passar pela cutícula para ser irradiada para o ambiente circundante. Sempre que a luz é emitida, ela precisa passar de um meio opticamente denso (cutícula) para um meio menos denso (ar). A velocidade com que a luz viaja através de um meio opticamente mais denso é diferente da velocidade num meio menos denso. Devido à diferença de velocidade com que a luz viaja através nesses dois meios, a refração e a reflexão da luz ocorrem perto da interface dos dois meios. Assim, apenas parte da luz passa para o novo meio. A outra parte é refletida de volta para o meio de origem. Se a luz atingir a interface em um determinado ângulo de incidência, ela será quase toda refletida. Para a cutícula do fotóforo da Lampyridae, esse ângulo é de 40°.

Um exame mais atento à cutícula revela a sua estrutura irregular: a superfície do fotóforo é coberta por escamas, que são ligeiramente inclinadas e têm pontas afiadas. Devido à sua inclinação, a estrutura da superfície é semelhante à de um prisma. Dessa forma, o ângulo em que a luz atinge a cutícula é alterado. As pontas afiadas das escamas permitem que mais luz seja espalhada, levando a uma transmissão adicional de luz e a um aumento de 45% na emissão de luz.

Quando se compara a estrutura do fotóforo com a de um LED, encontram-se algumas semelhanças. Ambos possuem uma camada geradora de luz coberta por uma camada transparente. No caso de um LED, a camada geradora de luz é formada por semicondutores dopados, que geram luz por meio da eletroluminescência. O empilhamento de materiais com dopagem tipo P e N permite que a transmissão de elétrons espacialmente limitados ocorra e, leva a um equilíbrio de portadores de carga na interface. Um LED consiste em num ânodo e um cátodo. O semicondutor está embutido em numa cavidade reflexiva e em parte da bigorna. Um fio e cobre liga-o ao pós. O pós e a bigorna formam a estrutura de principal, que é coberta com uma caixa de vidro ou plástico para proteção. Ao aplicar uma tensão, a recombinação contínua de portadores de carga na interface das camadas é induzida, o que leva à emissão de fótons.^[9]

De forma semelhante à reflexão que ocorre na superfície do fotóforo, parte da luz emitida por um LED é refletida na interface entre o vidro e o ar, diminuindo assim a eficiência luminosa. Para aumentar a eficiência, a estrutura escamosa da cutícula foi transferida para a superfície dos LEDs seguindo um típico procedimento biônico de três etapas:

- I. Explorando o fenómeno biológico
- II. Interpretando os resultados obtidos
- III. A interpretação dos resultados obtidos serve como solução para um problema técnico



Esquema comparativo das propriedades estruturais de fotóforo da Lampyridae (esquerda) e do LED (direita)
Imagem cedida por Marcel Hammann

References

- [1] Harde KW, Severa F (2006) *Der Kosmos Käferführer: Die Käfer Mitteleuropas* [The Kosmos Beetle Guide: Beetles in Central Europe] p 37. Kosmos. ISBN: 978-3440139325
- [2] Dettner K (2010) Biolumineszenz [Bioluminescence]. In Dettner K, Peters W (eds), *Lehrbuch der Entomologie* [Textbook Etymology] pp 601–611. Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2617-8
- [3] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer* [The Magic World of Beetles] p 121. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [4] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer* [The Magic World of Beetles] p 177. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [5] DeCock R (2000) Rare, or simply overlooked? Practical notes for survey and monitoring of the small glow-worm *Phosphaenus hemipterus* (Coleoptera: Lampyridae). *Belgian Journal of Zoology*, **130**: 93–101.
- [6] DeCock R (2012) Three central European glow-worm species: how to recognise central European glow-worm species. Retrieved from <http://www.glowworms.org.uk/ident.html>.
- [7] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik* [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]. p 98. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6
- [8] Girotti S, Ferri EN, Bolelli L, Sermasi G (2001) Applications of bioluminescence in analytical chemistry. In García-Campaña AM, Baeyens WRG (eds) *Chemiluminescence in Analytical Chemistry* pp 247–284. Marcel Dekker. ISBN: 0-8247-0464-9
- [9] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik* [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]. p 140. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6