

DIRETORES

Prof. Nello de Moura Rangel
Prof. Geraldo G. Carneiro
Prof. Octavio A. Drummond
Prof. Joaquim F. Braga
Prof. Edgard Vasconcellos
Prof. Arlindo P. Gonçalves

BIOLUMINESCÊNCIA ⁽¹⁾

RAUL BRIQUET JUNIOR

(Do Depto. de Biologia)

Cumpre, antes de tudo, agradecer aos prezados amigos a honra e o prazer concedidos, permitindo-me realizar aqui esta modesta palestra.

Não é um trabalho original; é bem o que se chama «mise au point», em que se estabelece a síntese das leituras feitas em determinado domínio, dentro de aquisições recentes. Procuramos dar uma apreciação moderna, clara, concisa e tanto quanto possível completa, no que, talvez, se reflita pequena parcela individual,

Quanto ao título, *bioluminescência* pareceu-me melhor, uma vez que bem define o fenômeno (luminescência biológica) e é mais usado, si bem que haja o termo *biosfotogênese*, também correto. O termo *actinogênese* creio ser muito geral e, portanto, não particularizar o nosso caso da luz fisiológica.

INTRODUÇÃO

Os seres vivos são verdadeiros transformadores de energia. Esta é por eles absorvida e as transformações energéticas do metabolismo podem tomar várias formas, como sejam a calorífica, a elétrica, a luminosa etc.

(1) Palestra realizada no Clube Ceres.

Entre elas, das mais interessantes é, sem dúvida, a luminosa, seja pela beleza, seja pelo mecanismo e características particulares.

ESBOÇO HISTÓRICO

O fenômeno pelo qual se apresentavam seres vivos luminosos é conhecido desde tempos remotos. Aristóteles e Plínio já o haviam assinalado em peixes, tocos de árvores, etc.

Antigos viajantes, como Vespuccio e João de Castro observaram a luminescência dos mares durante as suas longas travessias.

A causa dessa luminosidade continuou obscura por muito tempo e várias teorias se apresentaram para explicar o fato. Uns imaginavam que se tratasse de fenômeno elétrico causado pela fricção entre as moléculas da água e os sais nela encontrados (Le Gentil, Bajon etc); outros admitiam-na como resultado da ignição química dos sais da água do mar (Papin etc); alguns atribuiam o fenômeno à presença do fósforo (Silberschlag); Mayer admitia que a luz solar fosse retida na superfície dos mares durante o dia e à noite fosse devolvida à atmosfera; muitos achavam que as partículas pútridas dos organismos mortos flutuando na superfície das águas, em quantidade enorme, fosse a causa do fenômeno e outras opiniões surgiram ainda, das mais imaginosas.

Roberto Boyle, em 1667, demonstrou que o fenômeno exigia oxigênio para a sua realização, o que foi, sem dúvida, um grande passo.

B. Franklin, de início partidário da teoria elétrica, apresentou em seguida um ponto de vista correto, admitindo, em 1753, que se tratasse de minúsculos organismos vivos, invisíveis aos instrumentos de aumento existentes. Ele mesmo destruiu o conceito elétrico, mostrando que a água do mar, inicialmente luminosa, colocada numa garrafa, deixava de sê-lo no fim de algumas horas, embora fosse bem agitada.

Mais tarde, foram descobertos pequenos organismos unicelulares (Baker 1753), com pontos brilhantes no seu interior, aos quais se deu o nome genérico Noctiluca (1), protozoário esse que foi então estudado e estabelecido como prova das idéias de Franklin.

(1) É interessante lembrar que o nome Noctiluca foi usado, depois, para toda espécie de fosforescência. Boyle fala do fósforo de Bolonha (sulfato de bário impuro) como noctiluca sólida e ainda cita noctilucas «líquida», «gomosa», e «áerea», referindo-se ao fósforo em estados líquido, sólido e gasoso.

Em 1810, Macartney sumarizou os trabalhos anteriores e estabeleceu, definitivamente, perante a Royal Society de Londres, a causa da luminescência dos mares como sendo seres vivos.

A causa da produção de luz nas formas vivas, o seu mecanismo, não era explicado. Hulme admitia que se tratasse de «um princípio constituinte dos seres vivos luminosos». Foi atribuída a outros organismos e, em 1854, Heller dá os nomes *Sarcina noctiluca* e *Rhizomorpha noctiluca* respectivamente aos suspeitos organismos causadores da luminescência de animais e plantas. Isto é interessante porque, como sabemos hoje, a luminescência de tocos de madeira, folhas etc. são devidas a fungos de micélio luminoso e a luminescência de carnes, peixes mortos, etc., causadas por bactérias luminosas, como bem demonstrou Pflüger em 1875.

O mecanismo químico da luminescência de organismos vivos só foi estabelecido, porém, em 1876, por Raphael Dubois, como se verá adiante.

GENERALIDADES

Antes de entrarmos propriamente no assunto, vejamos alguma causa de caráter geral, afim de encaixarmos no conjunto dos fenômenos físicos, o da bioluminescência, o que procurarei fazer do modo mais claro, simples e conciso possível.

Sabemos que os corpos emitem radiações de vários comprimentos de onda em função da temperatura a que estão submetidos. A medida que a temperatura vai variando, variam também as radiações emitidas pelo corpo aquecido. Estamos, portanto, diante de um caso em que as radiações são produzidas diretamente pela energia calorífica.

Quando a temperatura de aquecimento é baixa, aparecem as radiações de pequeno comprimento de onda (raios caloríficos, como infra-vermelhos etc.). A medida que vai a temperatura aumentando, vão surgindo, (em adição às já emitidas), radiações de menor comprimento de onda, até que à 525°C., aparecem radiações com comprimento de onda igual a 0,77 micron, as quais são luminosas e se apresentam com vermelho desmaiado; continuando o aumento, surgem radiações de outras cores, com comprimentos de onda cada vez menor, como rubro nascente (750 graus), rubro cereja (900 graus), branco deslumbrante (1500 graus) etc., todas luminosas, até surgirem as de comprimento de onda igual a 0,4 micron que marcam o limite superior das radiações visíveis.

As radiações luminosas são, portanto, as que, pelas suas características físicas, podem impressionar a nossa retina dando-nos a sensação de luz, as quais se limitam entre os comprimentos de onda 0,77 - 0,4 micron. Fora desse limite, as radiações não se percebem senão pelos seus efeitos caloríficos (comprimentos de onda superiores a 0,77 micron) ou químicos (comprimentos de onda inferiores a 0,4 micron como raios ultra-violetas etc).

Como foi visto acima, os primeiros raios visíveis aparecem a 525 graus centígrados e, daí, considerar-se essa temperatura como padrão e dar-se-lhe o nome de *temperatura de fluxo luminoso*.

Pois bem, dizemos que um corpo é *incandescente* quando emite radiações luminosas a partir de 525°C. Há, entretanto, casos em que elas são emitidas abaixo dessa temperatura limite e dizemos então que se trata de corpos *luminescentes* distinção essa convencionada, pela primeira vez, por Wiedemann, em 1888.

Este caso é, por conseguinte, diferente, pois não depende diretamente da energia calorífica à qual se submete o material.

Como a luz biológica é luminescência, vamos, antes de mais nada, dar rapidamente uma idéia desse fenômeno, assim de encaixarmos, dentro dele, o nosso especial caso da luz viva, fisiológica, biológica ou «fria».

Luminescência é, então, a *emissão de radiações visíveis abaixo da temperatura de fluxo luminoso*. Acontece, entretanto, que há grande número de fenômenos com essa característica, e é necessário diferenciá-los do nosso caso. Assim, temos a *candoluminescência*, na qual certos corpos como zinco, quando aquecidos, emitem radiações de comprimentos de onda menor do que se deveria esperar em função do aquecimento; a *piroluvinescência* ou seja a de certos sais como litio e sódio etc. que produzem luz quando colocados na chama. Essa luminescência dá-se, em geral, a temperaturas altas, de modo que pode se confundir com incandescência. Há, entretanto, casos em que isso se dá a temperaturas bem baixas, como acontece com o CS₂, cuja emissão, a despeito da temperatura, é rica em radiações ultravioletas; *termoluminescência*, que não é mais do que a luz produzida por certos corpos, como diamante, mármore, etc., quando levemente aquecidos, necessitando porém o material de ter sido submetido à ação prévia de uma radiação (luz natural, raios X etc.); *fosforescência*, termo este mal empregado pois, para muitos, significa a luminescência do

fósforo e tambem dos seres vivos; fisicamente falando, porem, é apenas a luminescência de um corpo depois de submetido a ação de uma radiação qualquer. À primeira vista, pode parecer que seja um caso de termoluminescência, onde o aumento de temperatura agisse como intensificador do fenômeno, alem do que os espectros de ambos são semelhantes. Entretanto, há substâncias fosforescentes que não são termoluminescentes. Essa radiação que age sobre o material pode ser de várias categorias e o fenômeno passa a ser denominado em função dela (assim temos *catodoluminescência* ou luz produzida quando o material é previamente submetido aos raios catódicos; *anodoluminescência*, em se tratando de raios anódicos; *radioluminescência*, para os raios X; *fotoluminescência*, no caso da luz natural); a *fluorescência* é um caso de fosforescência e dá-se quando o material emite luz apenas enquanto dura a radiação sobre ele. Sob esse ponto de vista, como bem diz Becquerel, a matéria toda seria fluorescente, dependendo a apresentação do fenômeno da energia e do modo com que se age sobre a substância. A fosforescência pode ocorrer a várias temperaturas e o número de substâncias que a apresentam é grande (fósforo, B₂S, CaS, etc.), de preferência as substâncias sólidas; a fluorescência é muito espalhada (minerais, fluidos orgânicos, proteínas, gorduras, hidratos de carbono, etc.). Outros tipos ainda existem de luminescência, como a *eletroluminescência* ou luz produzida por descargas elétricas em tubos com gázes rarefeitos (tubos com Neon, por exemplo); *sonoluminescência*, produzida pela ação de ultrasons sobre certos fluidos (glicerol, por exemplo); *galvanoluminescência* ou seja a luz produzida pela eletrólise de certas soluções (brometo de sódio, por exemplo). Dois outros interessantes casos devem ser citados: a *triboluminescência* ou *piezoluminescência* que consiste na emissão de luz quando se agitam cristais de certas substâncias (sacarose, ácido hipúrico etc.) e a *cristaloluminescência*, fenômeno que se verifica quando um material emite luz ao se cristalizar (NaF etc.). Alguns consideram este caso como triboluminescência, alegando que, ao se formarem os cristais, eles se esfregam e agitam, mas, como mostrou Weyser, há substâncias que são tribo sem serem cristaloluminescentes. Fala-se ainda de *lyoluminescência*, referente a produção de luz por uma substância ao se dissolver (cristais de lítio etc.) mas isso é considerado como triboluminescência.

Pensou-se que a luz fisiológica pudesse ser tribo ou cristaloluminescência. Entretanto, a luz biológica depende do oxigênio e aqueles fenômenos não. Os cristais que existem

geralmente nos órgãos luminosos dos seres fotogenos (cristais de uratos etc.) não têm papel na *produção* de luz.

Ora, a luz dos seres vivos, pelas suas características: a — independe da temperatura; b — depende do oxigênio; c — não se altera pela ação de outra radiação; d — não se verifica por cristalização, eletrólise, ação de ultrasons, etc. etc., não pode pertencer a nenhum dos tipos acima examinados. Poderá enquadrar-se, e o faz, no último tipo a considerar de luminescência ou seja a *quimioluminescência*. Neste, há produção de luz por uma reação química. Poder-se-ia alegar que, nos casos anteriores, houvesse também uma reação química qualquer o que nos impediria de diferenciar a quimioluminescência; nada mais simples porém, pois, na quimioluminescência, há absorção de Oxigênio, sendo portanto uma *oxiluminescência*. Há muitas substâncias que, oxidadas, emitem luz (óleos, etc.). Ora, tanto a luz viva como a quimioluminescência dependem do Oxigênio; os espectros de ambas são iguais. Além disso, os estudos levaram ao isolamento de uma substância dos órgãos luminosos dos seres vivos, a qual, por oxidação, dá um produto luminoso, como se verá a seguir.

Mecanismo químico do fenômeno — Só em 1876, graças aos célebres trabalhos de Raphael Dubois, continuados brilhantemente por E. N. Harvey, é que se conseguiu explicar o mecanismo químico da bioluminescência.

Os fundamentos, da questão, devem, porém, ser procurados mais remotamente.

Em 1667, como vimos, Boyle mostrou que o fenômeno exigia a presença do oxigênio.

Mais tarde, provou-se a necessidade da água. Reaumur foi o primeiro a fazê-lo (1723), mostrando que o material luminoso retirado do molusco *Pholas*, quando seco deixava de brilhar, mas o fazia novamente quando humedecido. Spallanzani, em 1794, mostrou que os órgãos luminosos de medusas perdiam o fenômeno pelo dessecamento, mas voltavam às condições boas pela ação da água. Como provou Harvey, um extrato do órgão luminoso do ostracópodo *Cipridina*, seco, pode reter indefinidamente a capacidade de brilhar (1).

Vimos então a necessidade do oxigênio e da água. Mas, como essas duas causas existindo, não produzem o fenômeno em qualquer tecido, aparece, naturalmente, a idéia de mais um fator, ou seja de uma substância que, por mecanismo químico, satisfeitas as outras condições, produza o fe-

(1) Esse autor possui um material conservado há 21 anos, o qual, em condições próprias, brilha novamente!

nômeno. A existência dessa substância, que se chamou *foto-gêno* foi demonstrada por Dubois.

Antes de entrarmos propriamente no assunto, convém salientar, para mostrar mais a materialidade do fenômeno, que a bioluminescência não é um fenômeno «vital», na acepção do tempo. O processo pelo qual um nervo transmite o influxo nervoso é um processo «vital», porque qualquer alteração sofrida por ele, como maceração, desecamento, etc., não permite mais a produção do fenômeno. Já não acontece o mesmo no nosso caso, porque os órgãos luminosos, fora do organismo, macerados etc., continuam a brilhar, exatamente por se tratar de fenômeno químico simples.

Vimos então a necessidade de dois fatores e logicamente a de um terceiro. A quantidade de oxigênio necessária não pode ser bem estabelecida. É uma quantidade pequena. Para as bactérias, uma fração insignificante basta. Nas formas mais adiantadas exige-se um pouco mais. Harvey determinou um mínimo de concentração de oxigênio igual a 1/250 atmosferas, para *Cipridina*, correspondente a 3,04 mms. de Hg. Com o aumento do oxigênio há aumento, até um certo limite, da luminosidade.

Em relação a substância fotógena, foi Molish que assim a denominou em 1902, porém, em 1872, Phipson já havia dado o nome *Noctilucina*, à substância luminosa de modo geral.

As experiências de R. Dubois e N. Harvey, respectivamente, com molusco do gênero *Pholas* e crustáceo do gênero *Cipridina* vieram explicar claramente o mecanismo do fenômeno.

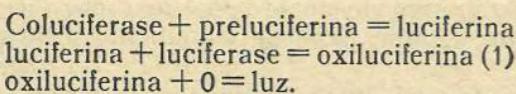
Dubois tratou órgãos luminosos de *Pholas* com água fervente e verificou que não produziam mais luz, enquanto que os extratos frescos, (não tratados pelo calor), continuavam brilhando durante certo tempo. Acontece, porém, que o material tratado pelo calor, embora não produzisse mais luz, não perdia a capacidade de fazê-lo pois que, em contacto com o extrato fresco e em presença do O e água, novamente vinha a brilhar. Dubois fazia a mistura do material fervido e não fervido, tendo este ficado a brilhar até que, espontaneamente, não fizesse mais. Daí, concluiu o seguinte: no material fervido (A), alguma cousa foi destruída pelo calor, pois que não brilhou mais depois do tratamento; porém contém outra, termoestável, pois que o material não perdeu a capacidade de brilhar, no futuro; essa substância termoestável recebeu de Dubois o nome — *luciferina*; e a termoinstável chamou-se *lueiferase*. Ora, no material não fervido (B), a

substância termoinstável, deve existir, porque não tratamos nada pelo calor. A ação das duas juntas produz luz, pois que a mistura dos dois materiais, como vimos, produz luz. Mas, no material B, tendo-se esperado que esgotasse espontaneamente a luz, alguma cousa foi destruída, porque houve ausência da luz no fim de certo tempo; considerando que esse material, com a primeira mistura, produz luz, logicamente se verifica que, no gasto espontâneo do material B se esgotasse exatamente o que ficou em A ou seja, a substância termoestável que se chamou, como vimos, luciferina. Daí, em B só há luciferase e em A, só luciferina. A mistura das duas, mais oxigênio, produz luminescência.

Ambas as substâncias foram isoladas e, o estudo da luciferase, mostrou, como se verá adiante, que se tratava de uma enzima. Estabeleceu então Dubois que se desse uma reação de oxidação de uma substância (luciferina), acelerada por uma enzima (luciferase) dando um produto luminoso que Harvey, chamou *oxiluciferina*. Os trabalhos de Dubois, foram confirmados por outros autores principalmente Harvey, com tecidos de várias formas vivas.

Dubois foi mais longe ainda. Admitiu que, como se verifica na maioria das reações bioquímicas, a luciferina se formasse a custa de uma outra substância pela ação de outra enzima; à primeira deu o nome *pre-luciferina* e à segunda chamou *coluciferase*.

Sintetizou então as suas idéias do seguinte modo:

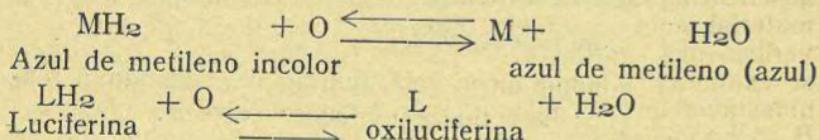


(Achava ela que a oxiluciferina se oxidasse ainda e produzisse a luz). As duas substâncias (preluciferina e coluciferase) foram isoladas por Dubois e outros.

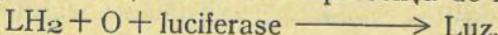
Harvey, entretanto, estudando bem o assunto, deu outra estrutura ao problema. Acha ele que não se trata propriamente de uma preluciferina e uma coluciferase, mas simplesmente de um produto oxidado da luciferina que se podia reduzir. Aliás, o próprio Dubois em 1919, admitiu que a coluciferase tivesse ação enzimática redutora. De acordo com Harvey e outros, a luciferina pode-se oxidar de dois modos: ou espontaneamente, dando oxiluciferina, sem produto luminoso ou sob a ação da luciferase, com produção de luz. A

(1) termo aplicado por Harvey.

oxiluciferina pode se reduzir e dar de novo a luciferina, sendo o mecanismo semelhante ao dos corantes como o azul de metileno, por exemplo, que se oxida de modo lento, espontaneamente, ou rapidamente em solução alcalina.



A reação é reversível. Ela se processa para a direita com produção de luz, somente em presença de luciferase.



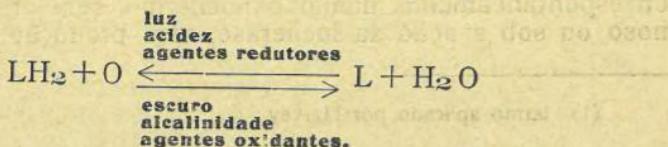
Naturalmente, vários motivos levaram Harvey a essas considerações. Basta lembrar, em essência, que a oxiluciferina formada sem produção de luz (na ausência de luciferase) quando em contacto com a luciferase produzia a luz. Ora é necessário que houvesse formação de luciferina, o que se dá pela redução da oxiluciferina. Aliás a redução desse material «in vitro» leva a um produto que, em presença da luciferase, dá uma reação luminosa.

E' evidente que Harvey teve motivos para comparar com a das leucobases, a oxidação da luciferina. Entre elas, salientam-se os mesmos processos de redução etc.

Segundo Anderson (1936) o produto oxidado obtido da luciferina pura sobre a qual se colocou luciferase (reação luminosa) não é reduzível. A redução pode ser feita por uma série de processos (H, ação de bactérias redutoras, de tecidos redutores, os quais como sabemos, contêm uma enzima redutora ou redutase etc). Assim, o azul de metileno colorido pode se tornar incolor, na ausência do oxigênio, pela ação de um tecido redutor. (Muscular, por exemplo). Pode-se transformar oxiluciferina reduzível em luciferina pela ação de um desses tecidos, no escuro.

A alcalinidade favorece a oxidação enquanto a acidez (como seria natural) favorece a redução; a obscuridade favorece a oxidação e a luz a redução.

Podemos sintetizar isso do seguinte modo:



O processo bioluminescente é, resumindo o que foi dito:

- a) um processo não «vital»
- b) luminescência
- c) oxiluminescência
- d) zimoluminescência que se dá segundo a reação: luciferina - O + luciferase = luz.

A reação luciferina-luciferase, a despeito da abundância de material existente, não foi evidenciada senão em certas formas (insetos, moluscos, crustáceos, vermes etc.), não se tendo verificado em formas inferiores e outras, como bactérias, fungos, medusas etc. nas quais, por quaisquer motivos, não se conseguiu isolar as duas substâncias e realizar a experiência «in vitro».

As reações luminosas são *específicas*. Só a luciferina e a luciferase de formas muito próximas (gêneros), podem se associar com a produção de fenômenos. A mistura de luciferina ou luciferase de *Cipridina*, por exemplo, com material de *Pholas*, não produz nada.

As substâncias responsáveis pela luminescência das formas vivas são, portanto, diferentes, e Harvey as denomina em função de possuidor; assim diremos *Cipridina* luciferase, *Pholas* luciferina etc.

Vamos rapidamente, fazer algumas considerações sobre essas duas substâncias, para se ter uma idéia da sua natureza, baseando-se nos materiais de *Cipridina*, amplamente estudados por Harvey.

A *luciferina* como vimos, é termoestável. Numa dissolução de uma parte para 400.000.000 de partes de água ainda permite a luminescência. É solúvel na água, bases e ácidos. Oxida-se espontaneamente em meios alcalino, sem produção de luz. É muito estável. A esse respeito, já citamos o exemplo de Harvey que conservou uma amostra de *Cipridina* luciferina em uma camada de vaselina e conseguiu, em presença de luciferase, luminescência depois de vinte e um anos. A sua composição química é ainda desconhecida. Harvey que, em 1919 emitira a hipótese de se tratar de uma proteína, ou melhor de uma próteose, pois que algumas reações proteicas nela não se verificam, acha agora que não é e que, ao contrário, deve se tratar de uma substância de peso molecular relativamente baixo. Anderson, em 1936, ad-

mite, depois de várias considerações que se trate de um polihidroxibenzeno enquanto Kanda (1932), admite como sendo um fosfolipídeo. As experiências deste autor mostram que a luciferina contém muito pouco nitrogênio e bastante fósforo. Deve ser um fosfolipídeo, ou uma lecitina, particularmente considerando, si bem que tenha muito N para uma lecitina. Dialisa-se lentamente.

Quanto à *luciferase*, é uma substância termoinstável, não dialisável, insolúvel nos dissolventes das gorduras; solúvel na água, em soluções ácidas e básicas. Age como enzima, pois que; a) é muito sensível às variações de temperatura; b) atua em doses mínimas sobre grandes massas. Segundo Harvey, uma parte de luciferase atua sobre 10.000 partes de luciferina. Por vários motivos comporta-se como proteína.

Pensou-se que, sendo a luminescência um processo oxidativo, como o é a respiração celular, houvesse produção de CO₂ na luminescência. Fabre declara que no cogumelo do gênero Agaricus, há maior produção de CO₂ quando brilha do que quando não brilha. Os trabalhos de Harvey, entretanto, são contrários a formação do CO₂. Em primeiro lugar, si houvesse produção de CO₂, o pH da solução luminosa cresceria e nenhuma variação foi verificada, por medidas precisas. Em segundo lugar, nas reações que envolvem CO₂ há produção de calor e a luz viva é fria ou melhor é acompanhada de uma quantidade absolutamente insignificante de calor.

As reações de luminescência dependem, como foi visto, do oxigênio, tendo-se um mínimo, um ótimo e um máximo de concentração desse elemento nos fenômenos luminescentes.

Trautz mostrou que a *intensidade* da reação depende da velocidade de oxidação no fenômeno e como tal velocidade depende da temperatura, como é sabido, vemos, também, que a reação luminosa depende diretamente da temperatura. O nosso caso é, portanto, diferente das reações fotoquímicas, portanto, nestas, a temperatura pouco influe, pois depende da absorção de luz que é um fenômeno físico pouco variável com esse fator.

Em relação à temperatura, temos também um mínimo, um ótimo e um máximo. Quasi todas as formas vivas podem brilhar a zero graus centígrados. As bactérias podem fazê-lo a -11,5 graus C. Heller notou, em 1862, que a água do mar luminosa, devida a peixes mortos, brilhava ainda a -14 C.

A temperatura baixa a luz é mais amarelada sendo mais azulada na região do ótimo. Um abaixamento grande mas pouco duradouro, se bem que impeça a manifestação do fenômeno luminoso, não o destroi, porque, uma vez elevada a temperatura, novamente se verifica a reação.

Considerações físicas sobre o fenômeno — Intensidade e brilhância da luz fisiológica — Os estudos feitos com inseto do gênero *Pyrophorus*, marcam uma intensidade igual a $1/1600 - 1/50$ velas e um brilho de 45 mililamberts. (1). Naturalmente, os resultados são variaveis conforme as formas vivas consideradas. Para as bactérias, Lode dá um resultado igual à $0,7 \times 10^{-10}$ velas internacionais por milímetro quadrado de colônia.

A luz das bactérias é, portanto, fraca. Calculando-se a luz produzida por bactérias fotógenas, caso si cobrisse delas a cúpula da basílica de S. Pedro, em Roma, ela não excederia uma vela.

Qualidade de luz — A luz é de diferentes cores conforme as espécies em estudo. Algumas são avermelhadas, outras azuladas e a maioria amarelo-esverdeada. Muitas formas apresentam duas ou mais cores no mesmo indivíduo, como insetos etc.

O espetro da luz dos seres vivos vem sendo estudado desde muito tempo (Pasteur 1864), por muitos autores em várias espécies luminosas. Naturalmente, há uma pequena variação com as formas consideradas.

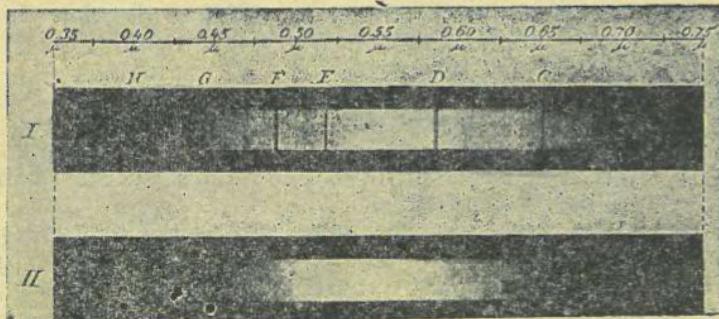
De modo geral, os espetros são pequenos, contínuos e se estendendo por vários comprimentos de onda. Segundo Coblenz, o espetro do inseto *Photinus pyralis* se estende de 0,51 micron até 0,67 micron de comprimento de onda, sendo, então, abundante nas regiões do verde e do amarelo.

Comparado com o espetro da luz solar, vemos que não difere muito dele. O espetro solar se estende mais para o lado do vermelho e do violeta do que o espetro *Pyrophorus*, por exemplo, estando o deste mais estendido na região do verde, como se vê na figura abaixo. E' interessante lem-

(1) 1 vela internacional = $\frac{1 \text{ Violle}}{20}$; 1 Violle = intensidade luminosa de 1 cm^2 de platina no momento de solidificar-se.

1 Mililambert = $\frac{1 \text{ Lambert}}{1000} = \frac{\text{velas} \times \pi}{\text{Superfície da fonte}}$

brar que as radiações para as quais o nosso olho é mais sensível são exatamente as da região do verde.



I — Espetro solar.

II — Espetro da luz do Pyrophorus noctilucus (apud M. Verworn - Physiologie Générale).

Há variação da luz das formas vivas conforme a espécie, o sexo, o desenvolvimento etc.

Eficiência — É a relação da quantidade emitida de radiações luminosas e a emissão total (raios visíveis, caloríficos e químicos).

Na bioluminescência a quantidade de calor e de radiações químicas é mínima, absolutamente insignificante, de modo que podemos considerar a luz fisiológica como de eficiência 100%, praticamente, em relação às radiações visíveis.

A esse respeito, organizamos a seguinte tabela comparativa :

Fonte	Rendimento
bico de gás	1,2%
arco voltaíco	2,2%
luz solar	14,0%
luz viva	100, % (praticamente)

E' por tal motivo que se chama «fria» à luz viva.

A quantidade de calor é tão pequena que não chega a

elevar a temperatura de termômetro de um milionésimo de grau.

Alguns autores admitiram a emissão de radiações ultravioletas por bactérias e ainda radiações semelhantes aos raios X, porém isso tem sido negado.

E' interessante notar ainda que a luz fisiológica é capaz de impressionar uma chapa fotográfica, de determinar fosforescência e fluorescência e de servir como agente fotosintético, fototrópico etc.

Organismos produtores de luz — Devido à sua extensão e desejando dar apenas uma idéia de conjunto sobre a parte referente aos organismos vivos luminescentes, vamos abordar rapidamente esse assunto.

A bibliografia sobre bioluminescência indica a quantidade de material citável. Basta lembrar que Dubois (1914) cita Ehrenberg o qual, em 1835 assinalava 436 autores que se preocuparam com formas luminosas e os estudos têm continuado de modo intenso nesse setor.

Bactérias — Há mais de trinta espécies de bactérias luminosas, distribuídas por vários gêneros já consagrados (*Photobacterium*, *Achromobacter*, *Microspira* etc.). A primeira bactéria luminosa foi isolada em 1891 por Dubois que a denominou *Bacterium sarcophilum*.

Esses vegetais luminosos encontram-se nos mares, nas formas luminosas marinhas e mesmo nas de água doce, porém não brilham nestas devido a falta de concentração osmótica do meio necessária ao fenômeno (NaCl). Basta, porém, que se estabeleça uma certa concentração salina (3% de cloreto de sódio) para que o fenômeno se verifique, mesmo em forma de água doce. Uma concentração muito acima de três por cento é demais e impede a luminescência, bem como uma muito abaixo. Essa concentração é pois um fator importante e as experiências sobre substituição do NaCl, por outros sais, associados ou não, são várias, não nos interessando dissertar sobre elas. O fato é que outros elementos, em determinadas proporções, podem permitir a realização do fenômeno.

E' bastante comum a observação de produtos luminosos, como carnes, ovos etc., devido ao desenvolvimento dessas bactérias no produto (eles, naturalmente, possuem certa quantidade de sal). Já se têm visto cadáveres humanos luminosos, verdadeiro perigo para os supersticiosos leigos que, mais de uma vez, já tem saído a grandes velocidades de locais assim caracterizados. Mesmo em gente viva já se obser-

varam fenômenos semelhantes (urina, fezes, suor), devido à ingestão de produtos mal conservados e infetados por bactéria luminosa. Tarchanoff, fisiologista russo, conseguiu tornar um sapo luminoso durante três dias, injetando bactérias luminosas nos sacos linfáticos do animal.

O fato de carnes se tornarem luminosas, longe de ser uma causa temível, é bom sinal porquanto, logo que se inicia a putrefação cessa a luminescência; a existência desta, portanto, contraindica a presença de bactérias da putrefação.

As bactérias luminosas são responsáveis pela luminescência de certas formas vivas (alguns insetos, peixes, crustáceos etc.) e isso levou a admitir-se (Pierantoni, Buchner etc.) que toda a luminescência fosse devida à presença de bactérias luminosas nos tecidos do organismo, em simbiose intercelular. Essa chamada *teoria simbiótica*, da qual falaremos ainda mais adiante, foi comprovada em alguns casos apenas. Em virtude de, na maioria dos órgãos existirem granulações espalhadas pelas células, Pierantoni admitiu que fossem elas bactérias, ligeiramente modificadas, e lá vivendo em perfeita simbiose. Em um cefalópodo do gênero *Sepiola* e outras formas, isso foi verificado, existindo no órgão luminoso do animal grande quantidade de bactérias luminosas, responsáveis pela respectiva luminescência. Em outros casos, absolutamente isso não se verifica. Basta lembrar a experiência de Harvey que submeteu o material luminoso do crustáceo *Cypridina* à fervura em água com 20% de HCl, durante seis horas o qual resistiu ao processo. Nenhum organismo vivo resistiria a isso. Poder-se-ia alegar que algum produto da bactéria permanecesse inalterável, mas convém salientar que o processo luminoso das bactérias é um processo intracelular e só se verifica nessas condições. As experiências mostram que as bactérias não possuem nenhuma granulação fotógena no seu interior e que um filtrado de uma cultura não é luminoso; a filtração feita na ausência de oxigênio, para evitar a oxidação de qualquer substância, dá o mesmo resultado; a admissão de oxigênio ao filtrado nada produz mas a readmissão à bactéria permite o aparecimento de luz.

Em certos casos (alguns Diptera) dá-se uma luminescência bacteriana patogênica e Dubois chega a propor isso como medida de Entomologia econômica.

As bactérias luminosas são aeróbias, havendo, porém, algumas que são anaeróbios facultativos, não iluminando, porém, nestas condições. Exigem, portanto, oxigênio para a luminescência além de concentração osmótica adequada. O meio deve ser neutro ou ligeiramente alcalino. O fato de al-

gumas se desenvolverem em meio levemente ácido não quer dizer nada, pois, como mostrou Dubois para o *B. sarcophilum*, a bactéria produz uma substância que alcalinisa o meio. São psicrófilas, isto é, desenvolvem-se em temperatura baixa. Em relação a isto, um abaixamento muito grande impede a luminescência mas não a capacidade de fazê-lo, pois, como mostrou a experiência, colônias submetidas a -190 C, novamente brilhavam com a elevação de temperatura (caso não permaneçam muito tempo nessa temperatura).

As bactérias luminescem bem entre os pH 5,9—8,3,

Os autores têm obtido belas colônias luminosas com as quais têm tirado belas fotografias, à própria luz bacteriana. Na nossa pequena coleção fotográfica temos uma, extraída de Dubois, como se verá na parte correspondente (fig. 1)

Como se disse, nas bactérias não se evidenciou a reação lucifera-luciferase. Todas as tentativas nesse sentido falharam. É uma luz contínua, inalterável pelo estímulo externo, produzida por um mecanismo da respiração celular, (oxidação) sobre substâncias ainda não evidenciadas.

Fungos — Há grande número de fungos luminosas. A maioria pertence a um gênero de Basidiomicetos, — *Agaricus*, no qual se encontram belíssimos exemplares, sendo os principais os australianos. No Brasil temos, entre outras espécies, a *A. gardneri*, estudada por Gardner, cujo chapéu é luminoso; existe no Norte do país onde é conhecido como «flor de coco». Há numerosas espécies desse gênero, como *A. melleus*, *olearius*, *prometeus* etc.

A primeira observação sobre fungo luminoso foi feita por de Candolle, com o *A. olearius*. Achava esse autor que o fenômeno era devido à decomposição do fungo com produção de fósforo gasoso o qual se inflamaria espontaneamente logo que entrasse em contato com o ar.

A luminosidade dos fungos foi atribuída a bactérias fotógenas, mas Dubois mostrou que isso só é verdadeiro em alguns casos. Há, portanto, fungos com o micélio luminoso por si mesmo.

O fungo pode ter o chapéu, o corpo frutífero, o micélio etc. luminosos. Como mostrou Dubois, os esporos nunca são luminosos.

Tais fungos explicam a luminosidade de folhas, tocos, de madeira, pão, queijo, batatas etc. etc. onde se desenvolvem. Basta que haja um meio próprio, bem úmido, com oxigênio, para que se desenvolvam. Pertencem a vários gêneros, como *Agaricus*, *Armillaria*, *Micena*, *Omphalia*, *Locellina*, *Pleurotes*, *Panus* etc.

No gênero *Omphalia* existe uma espécie (*O. flavidia*)

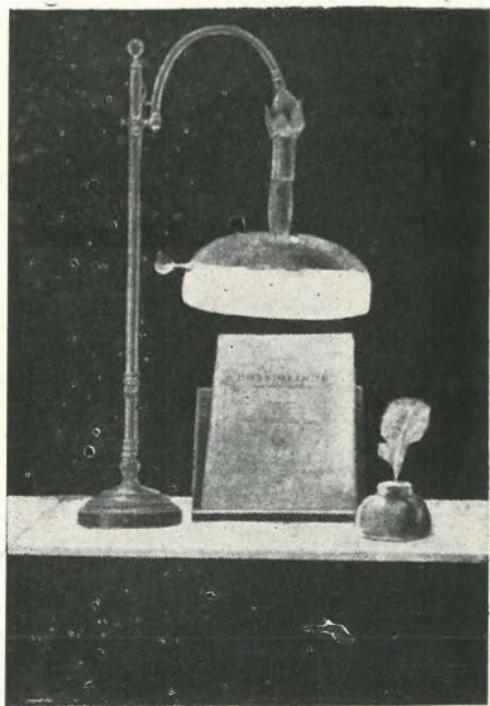


Fig. 1 -- Lâmpada viva de Dubois (de *R. Dubois*).

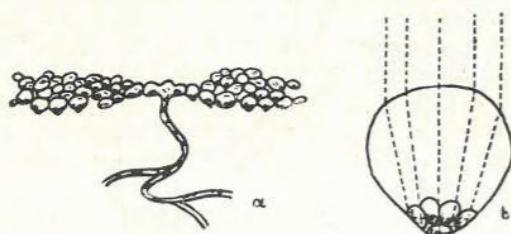


Fig. 2 -- *Shistostega osmundacea*

a — aspecto da planta

b -- secção esquemática de uma célula do protonema mostrando os cloroplastos na base aonde vão ter os raios luminosos.

(De *Farmer e Mameli*)

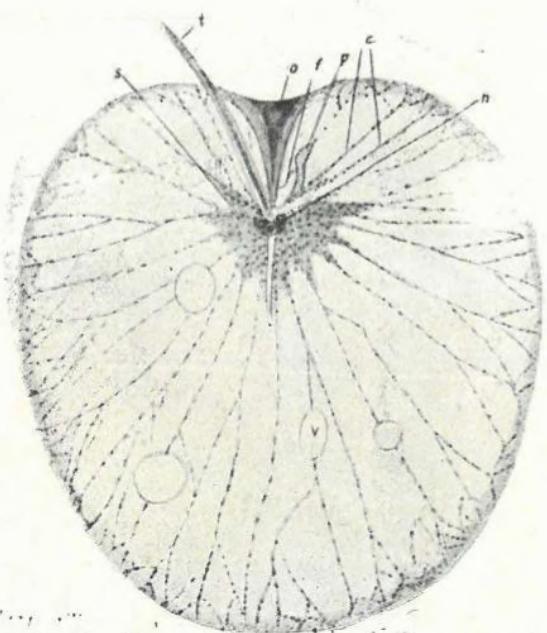


Fig. 3 - Noctiluca miliare.

Fig. 3 — *Noctiluca miliare*, mostrando as granulações fotógenas no citoplasma; *n*, núcleo; *c*, cordões citoplasmáticos com granulações fotógenas grandes e pequenas; *p*, faringe; *f*, flagelo; *o*, cavidade bucal; *t*, tentáculo; *v*, vacúolos; *s*, espinhos basais do tentáculo. (De N. Harvey).

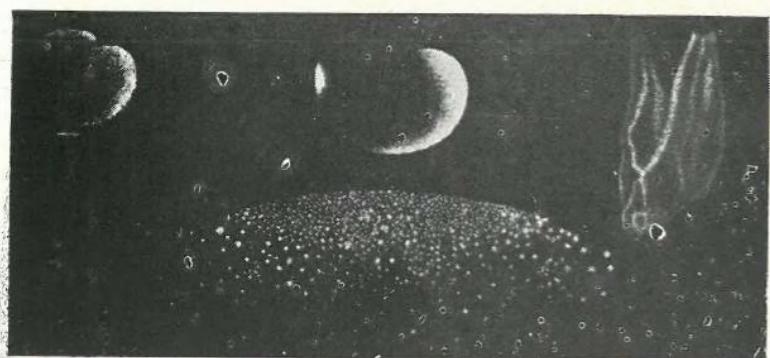


Fig. 4 — *Noctiluca miliaris* tal como se apresenta em luminescência (diversos aumentos) (de N. Harvey)

que ataca as folhas vivas do cafeiro, em regiões muito úmidas, em pequenas manchas visíveis, segundo consta, a quatro metros de distância em noites bem escuras (1).

Como foi dito, também a luminescência dos fungos é contínua, independente de qualquer estímulo e neles não se evidenciaram a lucifera e luciferase. Deve-se tratar de um processo interno oxidativo, semelhante ao das bactérias.

Alem desses casos há outros no reino vegetal.

O caso de certos musgos e outros Embriófitos não se enquadram na luminescência. A *Schistostega osmundacea*, pequeno musgo que vive nas fendas de rochas é aparentemente luminosa. Interceptando-se a luz que chega à planta pela fenda, nada se observa. E' que se trata de um caso de reflexão e refração da luz. As células do protonema do musgo são verdadeiras lentes convexas que refratam e convergem para a base os raios luminosos que a ela chegam, onde se encontram os cloroplastos, nos quais vai a luz se refletir (fig. 2). E' um caso semelhante ao do olho do gato, de certas mariposas etc. cujos olhos parecem brilhar à noite etc. São casos de reflexão da luz que chega ao olho vindo de uma fonte externa, pois que, em absoluta obscuridade nada se observa.

São citados casos de folhas (*Phytolacaceae decandru* etc.), de flores (*Pandanus* etc.), rizomas (gramíneas etc.) como sendo de bioluminescência; são exemplos mal estudados e que, provavelmente, se enquadram no tipo simbiótico com seres fotógenos.

O latex da *Euphorbea phosphorea* é tido como luminoso quando agitado ou esquentado, segundo Martius. Certos exemplos de flores luminosas (*Calendula officinalis*, *Papaver orientalis* etc) devem ainda ser bem examinados. Parece que não o são e se devem a impressão devido um fenômeno qualquer metereológico, pois que se verificam em circunstâncias tempestuosas etc., segundo os que afirmam a sua existência.

Animais luminosos — E' entre eles que vamos encontrar a maioria das formas luminosas, bem como as mais interessantes.

Protozoários — Há muitos protozoários luminosos, pertencentes aos flagelados e radiolários. A maioria deles está

(1) esse fungo existe na A. Central e do Sul. Temos, em Viçosa, um material proveniente de Pernambuco, atacado por essa espécie (folhas de cafeiro).

entre os flagelados, cujas formas marinhas parecem ser quasi todas luminosas. O flagelado mais comum é a *Noctiluca miliaris*, protozoário esférico, de meio milímetro de diâmetro (fig. 3), encontrado nos mares e principal causador da respectiva luminescência.

A *N. miliaris* contém, espalhadas pelo citoplasma, granulações fotógenas que se tornam brilhantes (fig. 4) logo que o animal sofra uma excitação de *qualquer* natureza, (química, elétrica, osmótica, térmica etc. etc.).

E' muito comum a observação de linhas luminosas deixadas por barcos no seu movimento, causadas pelo estímulo mecânico do protozoário. As próprias vagas, nos seus encontros, determinam uma excitação mecânica.

Esses protozoários existem em enorme quantidade nos mares. Têm pigmentação vermelho-amarelada e o seu acúmulo é que deu o nome ao Mar Vermelho.

Vários gêneros existem de flagelados luminosos, como *Ceratium*, *Piridinium*, *Pyrocistis*, etc.

Entre os radiolários há muitos, pertencentes a gêneros como *Thalassicola*, *Mixosphaera*, *Collozoum* etc. Possuem o centro luminoso.

O tipo de luminescência dos protozoários é interessante. Verifica-se só como resposta a um excitante qualquer, por um mecanismo ainda desconhecido. Tanto pode o estímulo aumentar a permeabilidade da célula, determinando maior entrada de oxigênio nela, como pode ser essa entrada de ordem secundária e a causa principal uma espécie de eliminação de condições que impiediam o contacto das substâncias fotógenas, como quer Harvey. O oxigênio é necessário sempre, mas parece que a diferença de entrada de oxigênio nas células vivas e mortas ou estimuladas é pequena, em muitos casos.

Entre as *esponjas* (Porifera) são citados alguns casos mas não se sabe si se trata de luminescência própria ou devida à formas luminosas que facilmente se alojam nos seus tecidos.

Entre os *celenterados* encontramos numerosas formas. A função já existe nas larvas e nos ovos.

Pela desagregação, os celenterados representam dos principais causadores da luminescência dos mares. Dubois verificou intensa luminescência depois de um terremoto e o exame das águas revelou partes desagregadas de celenterados, não se tendo encontrado a noctiluca.

Encontramos hidras de vários gêneros (*Campanularia*,

Sertularia, etc.); medusas (gêneros *Charybdea*, *Cyanea*, *Rhynchostoma* etc.), bastante luminosas. Das mais belas encontradas é a *Pelagia noctiluca*, habitante do Atlântico e Mediterrâneo, que é uma grande medusa com todo o exterior luminoso, inclusive os tentáculos. As chamadas gorgônias, que formam florestas submarinas, são também luminosas, produzindo luzes de várias cores. Vários gêneros de sifonóforos (*Praya*, *Hippopodius*, *Algama* etc.), possuindo várias espécies, são também encontrados. Entre os ctenóforos, temos vários gêneros, como *Pleurobrachia*, *Cestus*, *Eucharis*, etc.

A luminosidade dos celenterados é do tipo de glândulas de secreção externa, situadas na superfície do corpo e controladas pelos nervos que as inervam. Quando o animal é excitado, lança um muco luminoso. Não se sabe si o estímulo estabelece o contacto das substâncias fotógenas na glândula ou si o processo se verifica na expulsão das granulações fotógenas.

Entre os equinodermas, a luminescência é relativamente rara. Um dos exemplos mais interessantes é o da Bris-singa, (1) gênero de estrelas do mar de longos braços e muito luminosa. A localização das glândulas varia com as espécies.

O mecanismo da produção de luz é semelhante ao dos celenterados.

Os gêneros *Amphineura*, *Ophiacantha*, *Ophionereis* etc. são luminosos, geralmente nos braços e corpo.

Entre os Briozoários há várias formas, pouco estudadas, pertencentes a vários gêneros como *Membranipora*, *Flustra* etc.

No domínio dos *vermes* encontramos alguns platielmintos marinhos e anelídeos terrestres e marinhos etc. Em 1939, Kanda descobriu o primeiro nemertíneo luminoso. Uma espécie de anelídeo terrestre luminoso é a *Octochoetus multiporus*, ou lombriga fotógena, de luminosidade espalhada pelo corpo e afetando a forma de secreção externa, como aliás acontece com os vermes (fig. 6). Os gêneros *Eisenia*, *Microcoleus*, *Megascolex* etc., de anelídeos terrestres, são luminosos. Os mais interessantes, entretanto, são os marinhos, pertencentes a vários gêneros, como *Tomopteris*, *Perineis*, *Chaeopterus* etc. (fig. 5 a) No gênero *Tomopteris* temos interessantes formas luminosas, com células fotógenas nos parápodos.

Como se disse, a luminescência dos vermes é do tipo

(1) O nome provém de Brissing, nome da joia de Fréia, deusa do amor e da beleza da mitologia escandinava.

de secreção externa. No epitélio externo encontram-se células fotógenas, com granulações. O animal, irritado, emite um muco luminoso em várias zonas do corpo por um mecanismo nervoso semelhante aos dois anteriores.

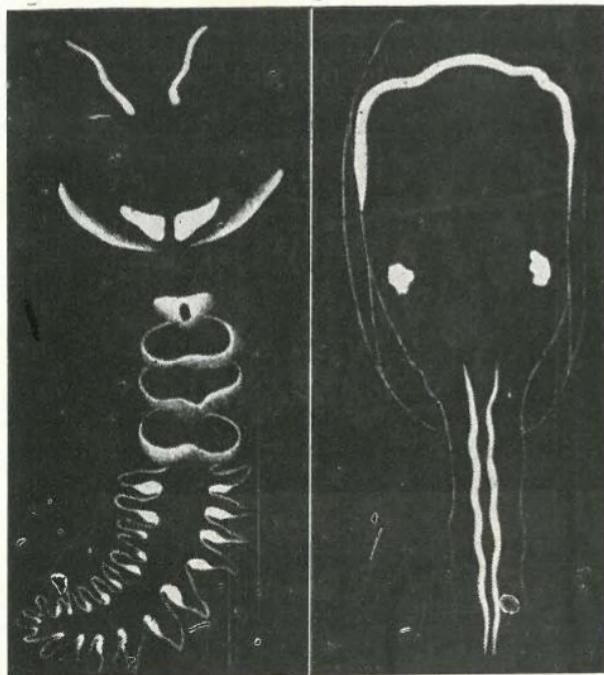
No *Chaetopterus*, o animal é luminoso em quasi todo o corpo. A luminescência varia entretanto, de caso para caso, conforme as zonas luminosas do corpo, intensidade, cor etc., o que é diferente conforme idade, sexo do animal etc. Quatrefages observou em certos anelídeos, que, à medida que se estendia o período de gestação a luminosidade aumentava.

Já dissemos que alguns anelídeos possuem luminosidade causada por bactérias, o que foi bem estudado por Pierantoni. Este autor constatou que algumas minhocas luminosas se apresentavam em estado anormal; examinou-as e verificou que se tratava de uma infecção bacteriana e que as bactérias eram luminosas. Inoculando essas bactérias em anelídeos sãos, verificou que se tornavam luminosos e adoeциam. Esse foi o seu ponto de partida para a teoria simbiótica, da qual já falamos. Estudando animais pelágicos, verificou que muitos eram luminosos devido a bactérias que existiam em simbiose intracelular; nesses casos, porém, o animal não se apresentava doente. Como diz Pierantoni, a luminosidade deveria ter começado como uma infecção, como no anelídeo, mas aqui ela foi controlada pelo animal e se tornou um processo normal na vida do ser.

Passemos em revista, agora, rapidamente, os artrópodos, entre os quais analisaremos, em primeiro lugar, os crustáceos. Os copépodos, ostracópodos, schizópodos e decápodos são os representantes luminosos dessa classe.

Podem apresentar, seja uma luminescência accidental (infecção bacteriana), seja do tipo glandular externo, já nosso conhecido, seja de um tipo mais aperfeiçoado, em que o animal possue orgãos especializados e adaptados a essa função, chamados *fotóforos*. Um fotóforo consta, (1) em essência, de uma camada de células fotógenas, uma camada de células posterior a essa e agindo como refletora, (impedindo portanto a entrada da luz para o interior do corpo) e uma camada celular anterior funcionando como lente. E, portanto, um órgão aperfeiçoado e altamente eficiente na questão de emissão de luz. No segundo caso, o animal apresenta espalhadas pelo corpo (pés, costas etc.) uma série de glândulas que secretam material luminoso (luciferina e luciferasa) e que estão em contacto com o meio exterior. Quan-

(1) veja-se a parte referente a figuras, no fim deste trabalho.



Figs. 5 a e 5 b — Diagramas das áreas luminosas em *Pholas* (direita) e *Chaetopterus* (esquerda). (De N. Harvey).

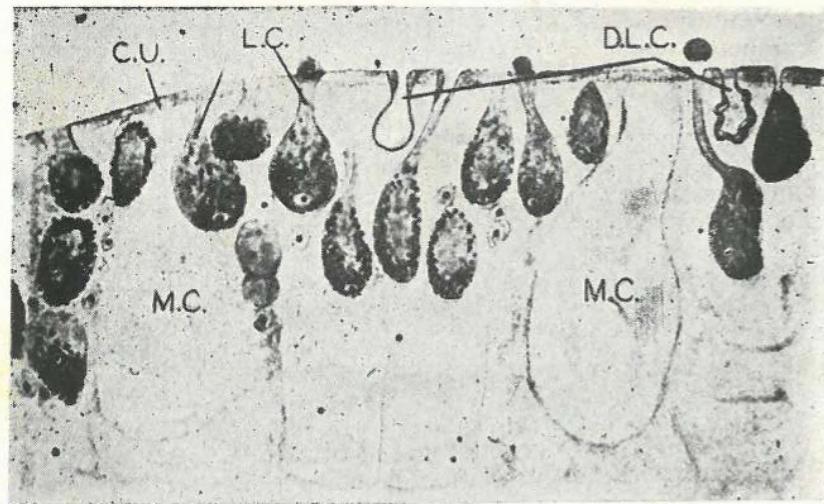


Fig. 6 — Epitélio luminoso de *Chaetopterus* c.u., cutícula; l. c. células fotógenas; m. c., células mucosas; d. l. c., células fotógenas cheias e descarregadas. (De N. Harvey).

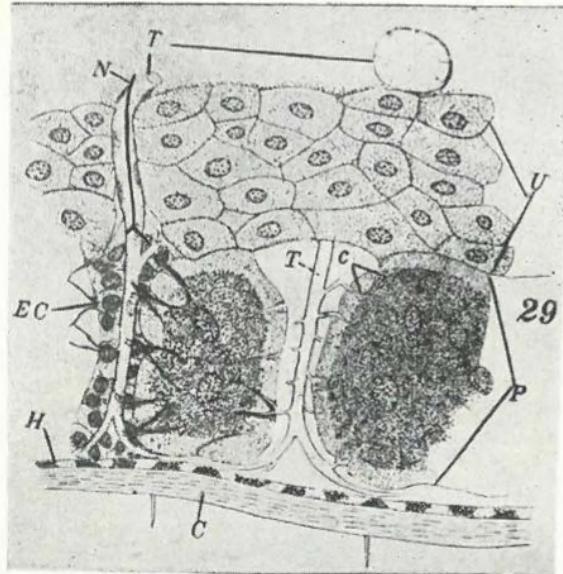


Fig. 7 – Corte do órgão fotógeno do vagalume; *V*, camada refletora; *P*, células fotógenas; *c*, cutícula; *T*, traqueia; *C*, capilares; *H*, hipoderma; *EC*, células terminais traqueais. (1) (De N. Harvey).

(1) O tronco traqueal se divide na zona fotógena em traquéos que passam por células chamadas terminais traqueais antes de atingirem as células fotógenas propriamente. Essa denominação é importante, por quanto não se sabe ainda si os nervos vão até essa camada ou diretamente às células luminosas; fica portanto, estabelecido que essas células são as que ficam imediatamente ao lado das luminosas propriamente ditas

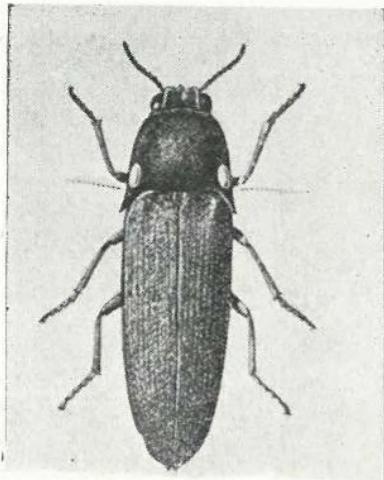


Fig. 8 -- *Pyrophorus noctilucus* mostrando as duas lanternas prototoráxicas (tamanho natural) De R. Dubois

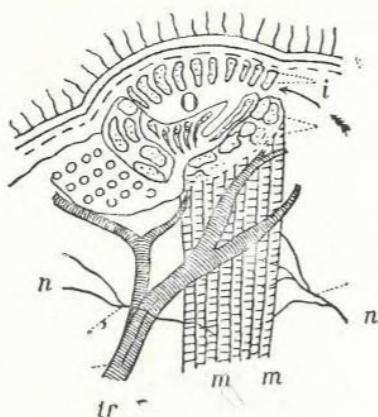


Fig. 8 a -- Corte do órgão luminoso do *Pyrophorus noctilucus*: *O*, órgão fotógeno; *mm*, músculos; *tr*, traqueia; *n* nervo. (De R. Dubois)

do o animal se irrita, por um mecanismo reflexo, é transmitido pelos nervos o estímulo aos músculos que controlam a glândula, dela saindo um líquido luminoso. Pode ser que o estímulo estabeleça contacto entre a luciferina e a luciferase e o oxigênio ou que essas substâncias se associem no ato da emissão propriamente. No caso da *Cipridina*, por exemplo, o animal, excitado, lança um muco que contém a luciferina e a luciferase, o qual, em contacto com a água do mar se dissolve e emite luz.

As glândulas são muito numerosas, variando o seu número de 18 a 117, e o material secretado pode ser lançado a grande distância. Essa emissão vem provocada por estímulos de variada natureza.

Os fotóforos são também vários e se localisam diversamente conforme a espécie. Também neste caso, dá-se um mecanismo reflexo transmitindo-se aos músculos controladores do órgão luminoso um determinada excitação. Os sinus sanguíneos que vão às glândulas luminosas e representam fonte de oxigênio, são controlados por esses músculos.

Desde 1640 que se descrevem crustáceos luminosos e, nessa classe são muitas as formas luminescentes. Entre os ostracópodos temos, de início, o gênero *Cipridina*, hoje um material clássico para o estudo desse fenômeno. *E. Cipridina hilgendorfii*, material muito utilizado por Harvey é um pequeno crustáceo, chamado «agalume do mar» pelos japoneses. Outros gêneros existem como *Pyrocyparis Giantocyparis* etc. Entre os copépodos, temos vários gêneros luminosos como *Locicutia*, *Pleuromma*, *Pontella* etc., com vários tipos de glândulas, quanto a localização etc. As larvas já possuem essas glândulas. No domínio dos schizópodos e decápodos há várias formas luminescentes, tanto do tipo glandular externo como do tipo fotóforo, diferindo uma das outras, pelo número, localização, cor etc..

Aranhas — Há citações de aranhas luminosas mas não se sabe si se trata de luminescência própria ou de infecção bacteriana ou devido a ingestão de material luminoso (agalumes etc.).

Míriápodos — Esses animais, cuja luminescência é conhecida desde muito tempo, possuem luz própria. Há vários gêneros com essa característica, do tipo glandular externo. Os gêneros *Orya*, *Scolioplanes*, *Geophilus* etc. são luminosos. Na espécie *Scolioplanes crassipes* há quatro glândulas luminosas em cada anel do corpo.

Ambos os sexos são luminosos e, ao se deslocarem, deixam um rastro luminoso. O mecanismo é semelhante aos casos examinados anteriormente, do tipo de glândula de secreção externa.

Insetos — E' entre eles que vamos encontrar grande número de interessantes formas, as mais bem estudadas, graças à abundância em que ocorrem, via de regra.

A luminescência dos insetos pode ser própria, devida à bactérias ou à ingestão de materiais luminosos.

Quasi todos os insetos luminosos pertencem à ordem *Coleóptera*, com raras exceções; os generos mais abundantes são *Lampyrys*, *Pyrophorus*, *Photinus*, *Photurus*, *Luciola* etc.

A nossa jequitinaboaia, (*Lanternaria phosphorea*, da ordem Homoptera), não é luminosa no apêndice frontal, conforme foi afirmado por muitos (1); do mesmo modo não é luminescente a espécie chinesa *L. candelaria*.

Alguns insetos, como dissemos, tem luminescência devido a bactérias. Isso acontece com certas paquinhas, formigas, lagartas, efemérides etc.

Certos *Collembola* possuem luz própria e, nessa ordem, gosam dessa propriedade exemplares dos gêneros *Neanura* (2) *Achontes*, *Lipura* etc.

Na ordem *Diptera* temos tambem exemplos interessantes como o da larva *Bolitophila luminosa*, sendo o adulto tambem luminoso na parte apical do abdômen. Parece que a luminescência é própria.

Algumas mariposas são tidas como luminosas e algumas lançam, um produto luminoso (tipo glandular externo) quando excitadas.

Como dissemos, porem, a maioria pertence à ordem *Coleóptera*. Nela vamos encontrar o nosso célebre vagalume, da família *Lampyridae*, havendo dele várias espécies.

A zona luminosa do vagalume se encontra no último segmento abdominal, recoberta por uma camada translúcida de quitina. Logo abaixo desta, há uma camada de células fotógenas, fabricantes de luciferina e luciferase e, abaixo dessa, agindo como refletora, uma camada de células com cris-

(1) veja-se a descrição de Mme. Marie S. Mérian em Carlos Moreira — «Entomologia Agrícola Brasileira».

(2) São os mais comuns. Vivem em madeira podre e causam-lhe luminescência confundível com a produzida por fungos.

tais de bases puricas (fig. 7). Traquéias se distribuem entre as camadas de células fotógenas.

Várias teorias existem explicando o mecanismo pelo qual se verifica a reação luciferina-luciferase, detalhadamente. Não nos interessa analisá-las mas, de modo geral, podemos dizer que, por um mecanismo reflexo, tendo como receptores os olhos, as antenas etc., transmite-se um estímulo ao órgão luminoso (nervos e músculos) resultando maior entrada de oxigênio nas células fotógenas e consequente produção de luz.

Ambos os sexos são luminosos; em algumas espécies a fêmea é aptera.

As larvas têm duas manchas luminosas no último segmento. Como mostrou Dubois, os óvulos já têm zona luminosa, mesmo no oviduto. As larvas, pupas e adultos são luminosas. Harvey demonstrou que a luz do vagalume é própria e que, no estado pupal, dá-se a reconstrução do órgão luminoso, caso tenha ele sido retirado da larva. Se fosse devida a bactérias essa luminescência, a retirada dos órgãos luminosos da larva não permitiria a luminescência do adulto dessa larva.

No vagalume a luz parece estar ligada à fecundação, ao contrário de muitos outros casos em que se não vê finalidade dessa função. As experiências mostraram que fêmeas mantidas em caixas opacas perfuradas não atraem machos, mas o fazem se colocadas sob vidro. Isso mostra que é a luz e não o odor que estabelece contacto entre os sexos.

A luz do vagalume é fraca e as respectivas medidas marcam de 0,02 a 0,0025 velas metro.

O vagalume apresenta, na sua luminosidade, um verdadeiro *rítmo* de vida. Luminesce sempre à tarde, dentro de certas horas. Quando em grupos, há um verdadeiro sincronismo nas luzes dos machos e das fêmeas. Os machos funcionam, quando em grupos, ao mesmo tempo. Entre a resposta de macho e fêmea há um intervalo definido.

Temos ainda o célebre «cucujo» das Índias Orientais, (*Pyrophorus noctilucus*). A larva e o adulto são luminosos, porém este é que, realmente, pode-se considerar belíssimo exemplar de inseto luminoso. Possui dois órgãos fotógenos verdes no protorax e um alaranjado ventral (fig. 8). A estrutura deles é semelhante, em essência a do vagalume.

Dizem que os índios se utilizam deles para pesca, caça, defesa das tabas contra mosquitos etc. Contam também que existe uma certa ave que, ao construir o ninho, prega nas paredes muitos desses insetos, tornando-o, portanto, iluminado.

Outro material muito interessante e raríssimo é o *Phengodes*, gênero de Coleóptera; o material classificado nesse gênero possue a fêmea áptera e luminosa bem como a larva que se confunde muito com a fêmea. O macho é alado e sem luz. A larva desse material tem luzes verdes ao longo do corpo (ambos os lados) e uma luz vermelha na cabeça. E' material raríssimo e Harvey só conseguiu dois exemplares em toda a sua vida (1).

Esse material existe no Brasil (2).

Consta que o coleóptero *Paussus sphaerocerus* tem antenas luminosas, porém tal declaração depende de observação precisa.

A luz dos insetos ora existe nas larvas e em um ou em ambos os sexos adultos, ou só num sexo, ou só na larva ou em ambos os sexos, variando isso com as espécies.

Essa luz atravessa o couro, o papel, a madeira etc. e impressiona uma chapa fotográfica; não atravessa o vidro, como os raios ultravioletas.

Moluscos — São vários os luminosos.

O lamelibrânquio *Pholas dactyla* é um molusco muito conhecido e serviu de material aos célebres trabalhos de Du-bois. E' um molusco pequeno, habitante dos mares da Europa e vivendo nas rochas. Produz um muco luminoso quando excitado, segundo um mecanismo já nosso conhecido (fig 5 b).

Outro exemplo muito interessante é o da *Phillirrhoë bucephala*, estudado por Panceri, em 1873. Consta de uma série de glândulas espalhadas pelo corpo e cabeça, as quais se comunicam com o exterior e estão ligadas ao sistema nervoso do animal de modo que, por estímulo externo, brilham em todo corpo.

Os gêneros *Nematolampa*, *Histioteuthis* *Lycoteuthis* etc. de cefalópodos são luminosos. Alguns têm a luminescência devida à bactérias, como a *Sepiola*. Nesse molusco, existe uma camada de células fotógenas (núcleo luminoso),

(1) Newton Harvey, em carta ao autor deste trabalho declara que toda a fisiologia desse inseto é desconhecida. Está ele muito interessado na obtenção de exemplares afim de verificar, entre outras coisas, se a luz da cabeça é realmente vermelha ou devida à quimarron avermelhada da cabeça.

(2) O Prof. J. de Alencar, desta Escola, declara ter observado e apanhado um exemplar, nas proximidades da cidade de Viçosa, perdendo-o entretanto. Tive também notícias da sua existência em Montes Claros, baseando-me, naturalmente, nas descrições verbais...

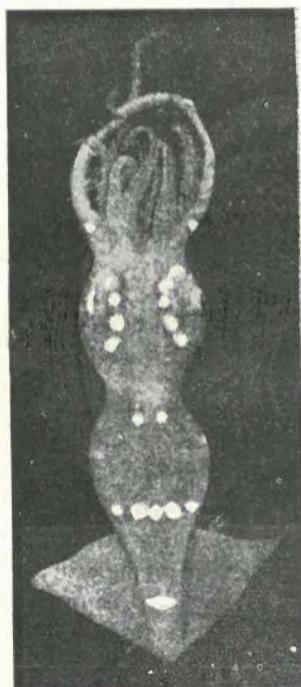


Fig. 9 - *Eunoplateuthis diadema*
(De R. Dubois)

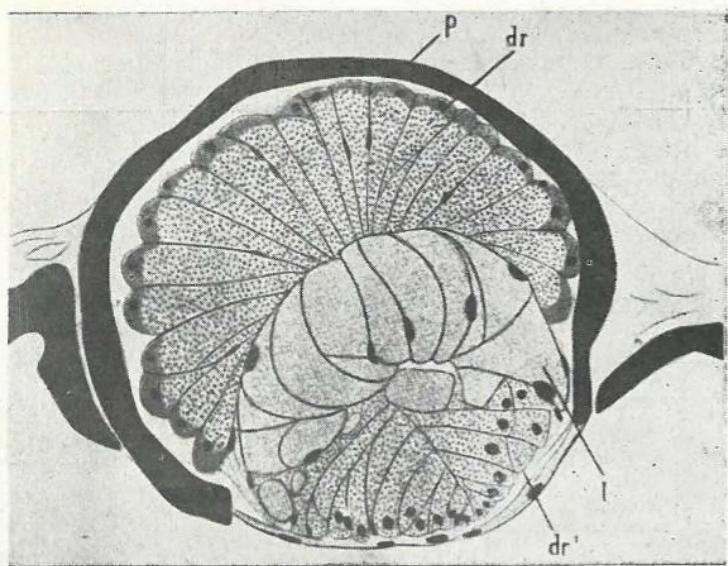


Fig. 10 -- Corte do fotóforo de *Stomias*. *P*, camada pigmentada; *dr*, *dr'*, células fotógenas; *l*, lente (De N. Harvey)

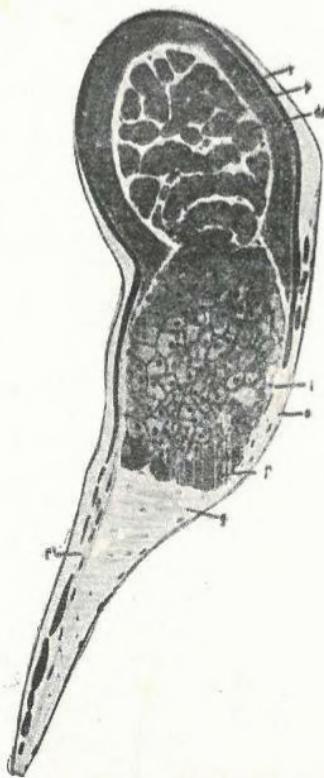


Fig. 11 — Corte do fotóforo de *Argyropelecus affinis* P, camada de pigmento; dr, células fotógenas; l, lente; r, r₁, refletores (?) g, tecido conjuntivo; s, membrana protetora externa.
(De N. Harvey)

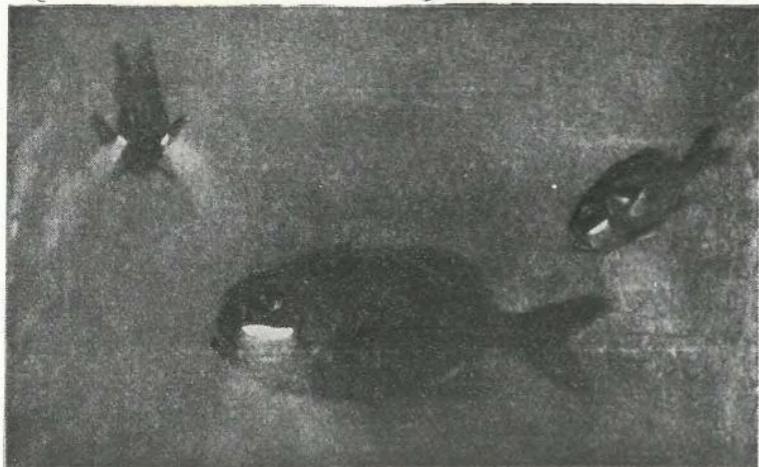


Fig. 12 — *Photoblepharon palpebratus*, com um fotóforo debaixo de cada olho e cuja fonte de luz é bacteriana. (De N. Harvey)

cercada de uma camada anterior de células que funcionam como lente e uma posterior pigmentada que age como refletora. O núcleo luminoso da *Sepiola* possue uma série de tubos que se comunicam com o exterior, e, nas respectivas paredes, abundam bactérias fotógenas. O animal, as utiliza, portanto, «in situ».

Outros céfalópodos possuem luz própria, do tipo glandular externo, ou fotóforos. Um dos mais belos exemplos é o da *Eunoplateuthis diadema*, pescado a 1500 metros e que possue 24 fotóforos espalhados pelo corpo e produzindo variadas cores. (fig. 9).

Alem desses animais, temos alguns *Balanoglossus*, *Tunicados* etc., luminosos.

Entre os peixes, vamos encontrar a maioria das formas luminosas com fotóforos, havendo, tambem, alguns do tipo glandular externo que lança um produto na água (*Malacocephalus* etc.).

São geralmente peixes abissais e, segundo Roulle, pelo menos um quinto das espécies pelágicas (300-500 espécies) são luminosas.

O número de fotóforos é muito grande, chegando a várias centenas, distribuidos nas várias partes do corpo, principalmente na linha lateral e ramificações desta para a cabeça. As vezes, pode-se encontrar setenta fotóforos por milímetro quadrado, em certas regiões do corpo !

Esses fotóforos têm organização semelhante aos já examinados e, na nossa pequena coleção de fotografias, damos dois exemplos (figuras 10 e 11).

Um fotóforo, como dissemos, pode ser considerado como um olho, funcionando porém como emissor de luz em vez de receptor. Assim, a camada anterior de células que funciona como lente pode ser considerada como cristalina; o núcleo fotógeno se equivaleria à retina e a camada interna refletora se compararia à coroide.

Dissemos que muitos peixes têm luminescência devida à bactérias. Isso acontece em vários gêneros, como *Photoblepharon*, (fig 12.), *Anomalops*, *Monocentris*, *Ceratias* etc.

Em alguns casos, como acontece no chamado «diabo branco», o fotóforo está num apêndice que sai da cabeça.

Para dar um exemplo da distribuição dos fotóforos apresentamos um esquema do *Myctophum*, uma das formas mais estudadas, mostrando os seus vinte e quatro fotóforos. (fig. 13)

Em outras formas mais adiantadas, não se conhece a

luminescência própria, porém podemos observar casos acidentais em que ela se verifique, devido a ação de bactérias fotógenas (sapo, cobras, mamíferos).

Considerações sobre a função biológica da luminescência — Si a luminescência biológica é um fenômeno útil com determinada finalidade biológica, não se pode dizer ao certo. Em alguns casos, como o de certos insetos, parece, como mostramos, ser realmente um fenômeno importante, garantindo o reconhecimento dos sexos e a fecundação. Em outros casos, entretanto, parece que não há finalidade no fenômeno. Nos peixes, por exemplo, considerando-se que: a — há poucas espécies luminosas, relativamente; b — a localização dos fotóforos é das mais disparatadas; na cabeça, onde seriam mais úteis para o animal (caso se admita o fenômeno como útil para a locomoção), é onde menos existem; c — as espécies mais profundas não têm fotóforos; parece não haver finalidade para a locomoção do animal. Aliás, as experiências mostram que o peixe se locomove mais pelas vibrações das nadadeiras e impressões gustativas do que por outra causa. Como bem diz Roulle, trata-se, provavelmente, de um fenômeno antropocêntrico o encarar o peixe luminoso como um material adaptado à escuridão dos fundos dos mares. Habitamo-nos à luz de modo que não poderíamos conceber a ausência dela para a vida normal e cremos a existência da luz em formas que vivem em habitats escuros como um mecanismo compensador.

Pode ser que seja um mecanismo de atração das formas lucífilas, que seriam ingeridas pelas formas luminosas, ou ainda como um mecanismo de defesa, pois que, uma iluminação brusca num meio escuro, produzirá um deslumbramento inibidor numa outra forma, e, enquanto volte a visão desta a se adaptar ao meio, já a presa fugiu. Pode ser um mecanismo de reconhecimento dos sexos e respectiva atração, como admite Brauer. Diz este autor que, dentro da grande variabilidade nos órgãos luminescentes, quanto a disposição, cor etc., há uma grande constância específica, para cada sexo, uma verdadeira «fórmula luminosa» para cada indivíduo, o que seria um meio de reconhecimento e atração.

Não se pode dizer sim ou não. O fato é que o mecanismo é uma consequência das transformações energéticas da matéria organizada, e que transformam a energia potencial dos materiais que penetram nas células em energia cinética, seja em forma de calor, luz, eletricidade etc., não havendo motivo para ser dotado de finalidade.

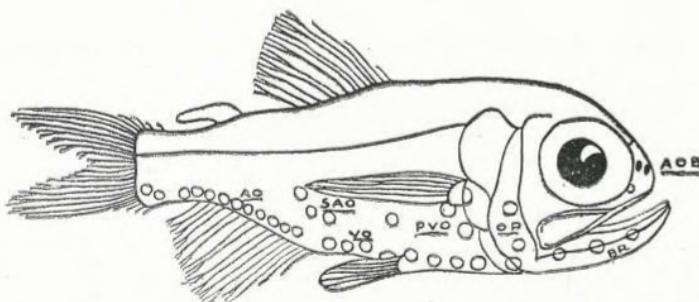


Fig. 13 — Diagrama de *Myctophum Risso Cocco* mostrando os fotóforos representados por pequenos círculos:

AOB — fotóforos anti-oculares	PVO — fotóforos peitorais
BR — " mandibulares,	SAO — " laterais
OP — " operculares,	VO — " ventrais
PO — " toracicos	AO — " anais e caudais

(De Roulle)

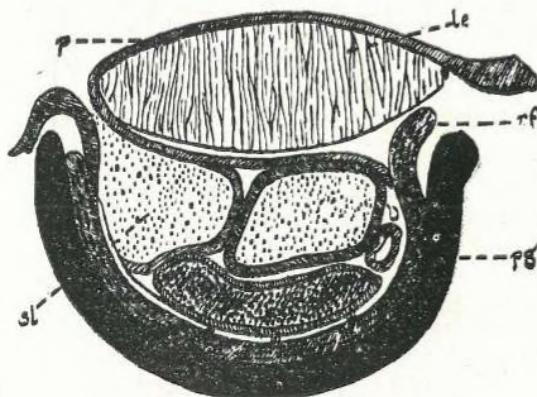


Fig. 14 — Corte do órgão luminoso de *Sepiola*.
p, Tecido epitelial; le, lente; pg, camada pigmentada;
se, núcleo luminoso bacteriano; rf, camada refletora.

(De Pierantoni)

BIBLIOGRAFIA

- Aclocque, A. — Les Champignons; Paris; 1892.
- Arévalo, C. — La Vida en Las Aguas Dulces; Labor; 1929.
- Achalmé, P — Electronique et Biologie; Masson; Paris; 1913.
- Becquerel, E. — La Lumière; Paris; 1867.
- Binet, L. — Scènes de la Vie Animale.
- Brehm, A. E. — Merveilles de la Nature; Paris.
- Brunhes, B. — La Dégradation de l'Énergie; Flammarion; Paris; 1908.
- Bruner, L. -- Phosphorescent Myriapods; Insect Life, Vol. III, Nº. 57-8; pg. 319; 1891.
- Buchanan, R. E. e Fulmer, E. I. — Physiology and Biochemistry of Bacteria; Willians & Wilkis 1928.
- Buck, J. B: — Synchronous Flashing of Fireflies Experimentally Produced; Science, 81, pag 339; 1938.
- Caustier, E. — Les Insectes; Hachette; Paris; 1921.
- Chakrovorty, P. N. e Ballentine, R. — On the Luminescent Oxidation of Luciferin Jour. Am. Che. So; julho de 1941.
- Comstock, J. H. — An Introduction to Entomology; Comstock Publ. Co; N. Y. 1925.
- Dahlgren, V-The Bac. Light of Ceratias; Science, 68, pg. 65, 1928.
- Dow, J. S. — Some Phenomena of Phosphorescence ; Discovery, vol. 5, 1924.
- Dubois, R. — La Vie et Lumière; Paris; 1918.
- Eggert, J. — Tratado de Química - Física; Labor; 1930.
- Farmer, B. J. e Mameli, E. — Morfologia Biológica Vegetal; Milão; 1924.
- Guilleminot, H. — Les Nouveaux Horizons de la Science; Paris; 1913.
- Harvey, E. N. — The Nature of Animal Light — J. B. Lippincott; Pha. 1920.
- Harvey, E. N. — Living Light; Princeton University Press; 1940.
- Harvey, E. N. — Benjamin Franklin's Views On The Phosphorescence of The Sea Proc. Am. Phi. So. vol. 83, nº. 2; 1941.
- Harvey, E. N. — Bioluminescence - Trans. Faraday So; vol. 35; jan. 1939.
- Harvey, E. N. — Deep -- Sea Photography; Science, 90, pg 187; 1939.
- Harvey, E. N. — The Evolution of Bioluminescence and its Relation to Cell Respiration; Proc. Am. Phi. So.; 71, pg. 135; 1932.
- Harvey, E. N. e Lavin, G. I. — Reduction of. Oxyluciferin by Atomic Hydrogen; Science, 74, pg. 150; 1931.

- Harvey, E. N. — Cold Light — Scientific Monthly; Março, 1931.
- Harvey, E. N. e Snell, A. P. — Kinetics of Bioluminescent Reactions Of Short Duration; Proc. Am. Phi. So; vol. 69, nº. 6; 1930.
- Harvey, E. N. — Will The Adult Firefly Luminesce if its Larval Organs are entirely Removed?; Science; pgs. 253, marçó, 1929.
- Harvey, E. N. — Luminous Fishes of the Banda Sea — Natural History, 25, pg. 353, 1925.
- Hill, S. E. e Shoup, C. S. — Observations on Luminous Bacteria; J. Bacteriology; 18, 1929.
- Hogben, L. T. — Animal Light and Animal Color; Discovery; vol. 5; 1924.
- Imms, A. D. — A General Text Book of Entomology; N. Y. 1938.
- Joubin, L. — La Vie dans les Oceans; Paris; 1912.
- Kanda, S. — The Chemical Nautre of Cipridina Luciferin; Science, 71, pg. 444, 1930.
- Kerville, H. G. — Les Vegetaux et les Animaux Lumineux; Paris; 1890.
- Korr, M. I. — Thé Luciferin-oxyluciferin Sistem; J. Am. Che. So. 58, pg. 1060, 1936.
- Martonne, E. de — Traité de Geographie Phisique (30 vol - Biogeographie); Armand Colin; Paris; 1932.
- Miller, G. — Synchronous Firefly Flashing; Science, 81, pg. 590, 1935.
- Moreira, C. — Entomologia Agricola Brasileira; Imprensa Nacional.
- Morse, E. S. — The Synchronous Flashing of Fireflies; Science, 59, pg. 163; 1924.
- Okada, Y. K. — Light Localisation in Ctenofora; Science, 63, pg. 262; 1926.
- Pardi, L. — Il Corpi Grassi degli Insetti — «Redia», vol. 25, 1939.
- Pierantoni, U. — Compendio de Biologia Geral; Labor; 1936.
- Phosphorescent Centipedes — Nota em Insect Life, vol. III, nº. 4, pg. 173, 1891.
- Richmond, C. A. — Fireflies Flashing in Unison; Science, 71, pg. 537, 1930.
- Rioja, E. — Los Animales Marinhos; Labor; 1929.
- Rouille, L. — Les Poissons; Paris; 1934.
- Snell, A. P. — The Neuro-muscular Mechanism Controlling Flashing in the Lampyris Firefly, Science, 73, pg. 372, 1931.
- Verworn, M. — Traité de Physiologie Générale; Paris; 1900.
- Wheeler, M. W. — Ants; Col. Un. Press; 1926.