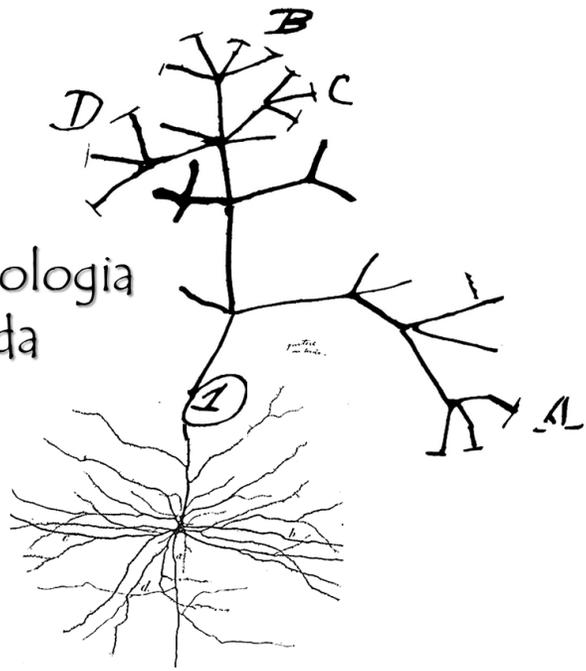


Neurofisiologia
Comparada



SISTEMAS SENSORIAIS

VISÃO
FUNÇÃO
COMPARAÇÕES

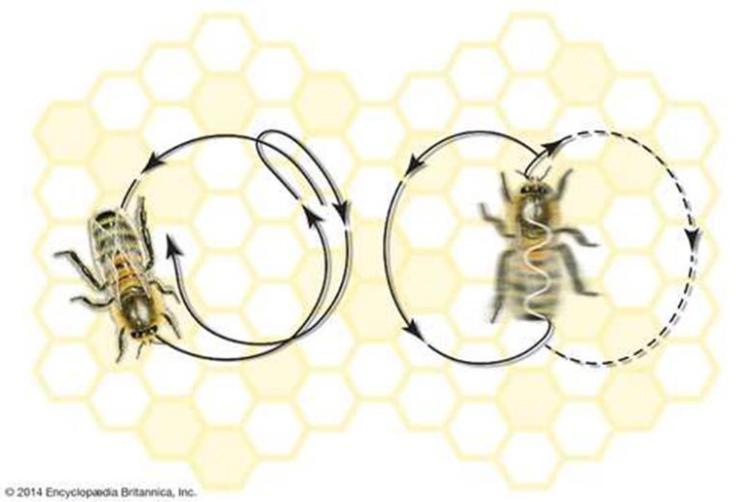
Desde a origem do planeta a luz (durante o dia) e sua ausência (durante a noite) marcaram as vidas que surgiram na Terra, segundo dois principais caminhos: o dos autotróficos e o dos **heterotróficos**.

Receptores e ritmos biológicos (Cronobiologia) guiados pela presença ou a ausência da luz surgiram precocemente.

A PRESENÇA DA **LUZ** ANTECEDEU O
SURGIMENTO DA **VIDA** NA TERRA

Há muito tempo ...

A **visão** é o principal **senalizador do ciclo claro/ escuro**, que precedeu a origem da vida no planeta. Assim, processos fisiológicos dos animais são ajustados ao **dia e noite** desde muito precocemente (HOMEOSTASE ANTECIPATÓRIA).



Espécies evoluíram em ambientes excepcionais, e. g, cavernas, e águas profundas, com adaptações à luminosidade baixa, como vimos em alguns exemplos, mas mesmo neles persistem a **ritmicidade (circadiana, circa die: de duração de 24h)**, e os infra e ultradianos como os mensais, lunares, anuais, etc.

Além do papel na **cronobiologia** a visão participa das **relações intraespecíficas** (e.g. reconhecimento e escolha de parceiro; escolha e localização do alimento e água, empatia, cooperação, orientação, navegação e predação) e interespecíficas (e.g. territorialidade, acasalamento, etc).

Todos os sentidos são importantes, e nesse cenário a visão é realmente um *sentido muito especial*, abrangente, diversificado e universal.

A VISÃO: SIGNIFICADO FUNCIONAL E EVOLUTIVO

Sugestão para saber mais:
Seeing and doing: how vision shapes animal behaviour T. W. Cronin & R. H. Douglas, RSTB 2014.

O que os fotorreceptores fazem?

Detecção da presença ou ausência da luz

Detecção da direção da luz

Formação de imagens

Cores

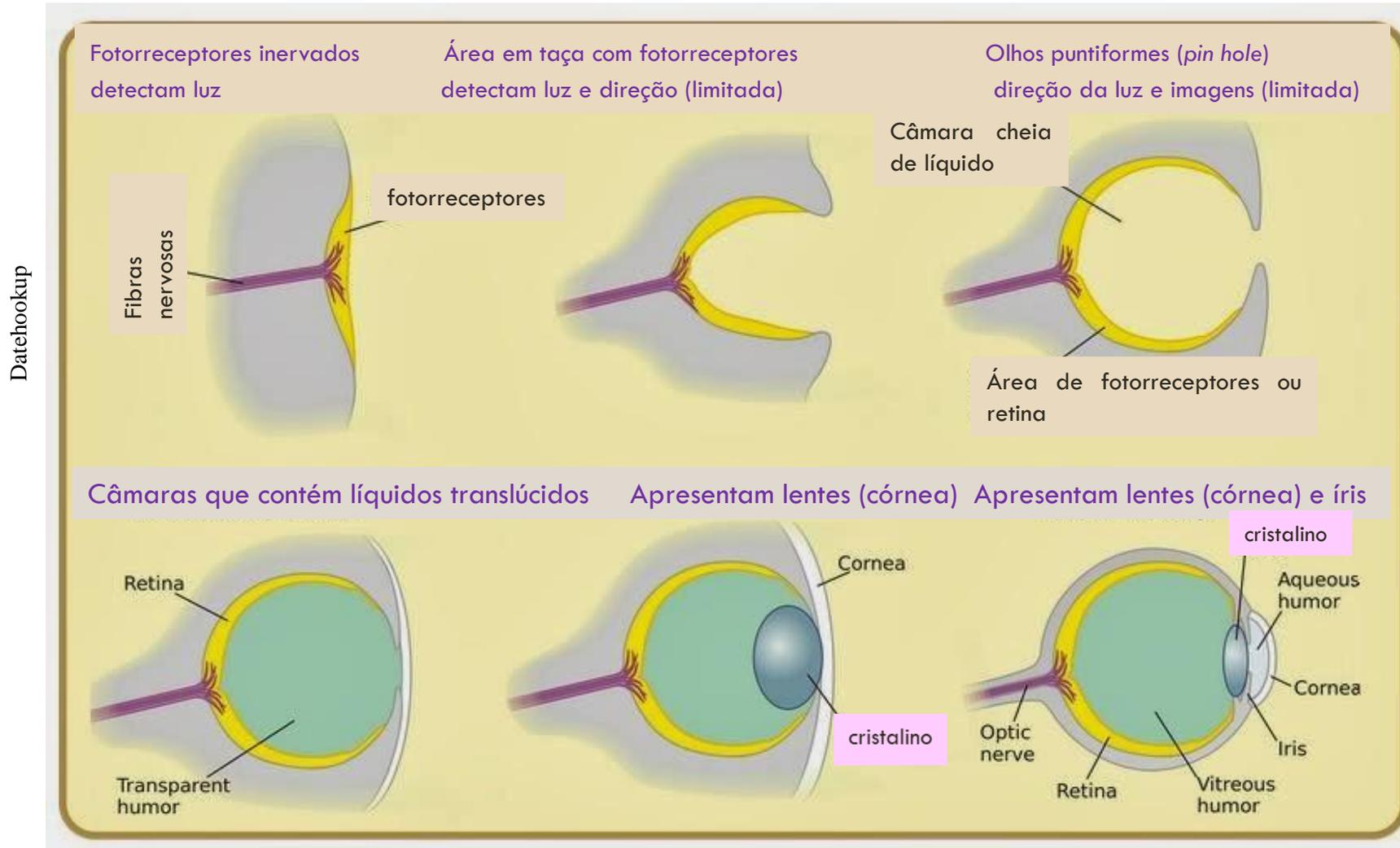
TIPOS DE FOTORRECEPÇÃO

SENSIBILIDADE DIFUSA

FOTORRECEPTORES INDIVIDUAIS

ESTRUTURAS MULTICELULARES
(NA FORMA DE CÂMARAS E
OLHOS COMPOSTOS)

Estruturas fotorreceptoras



Incorporam estruturas vistas em olhos mais simples

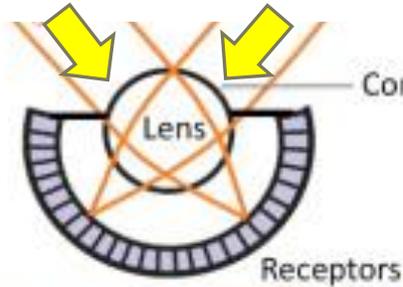
Fotorreceptores em estruturas que aumentam as capacidades visuais: em depressões, em cavidades com pequenas aberturas, com a presença de líquidos e lentes, como na figura acima

OS OLHOS MAIS COMPLEXOS: NA FORMA DE CÂMARAS E OS OLHOS COMPOSTOS

Lens/lenses: lente/lentess cornea: córnea; receptors: receptores

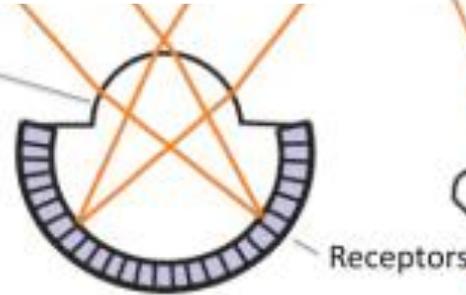
Olhos em câmara

Olhos simples com lentes



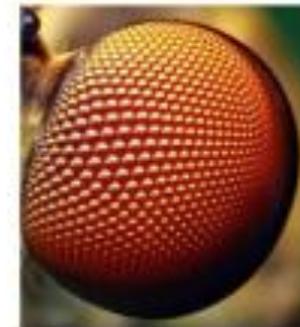
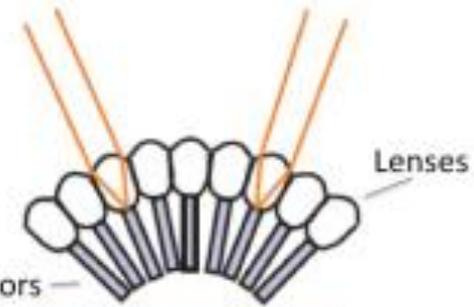
Vertebrados, cefalópodes, gastrópodes, alguns anelídeos, alguns cnidários, e pelo menos em um crustáceo copépode.

Olhos simples com córnea*



Aracnídeos, em alguns vertebrados e em fases larvais de alguns insetos

Olhos compostos



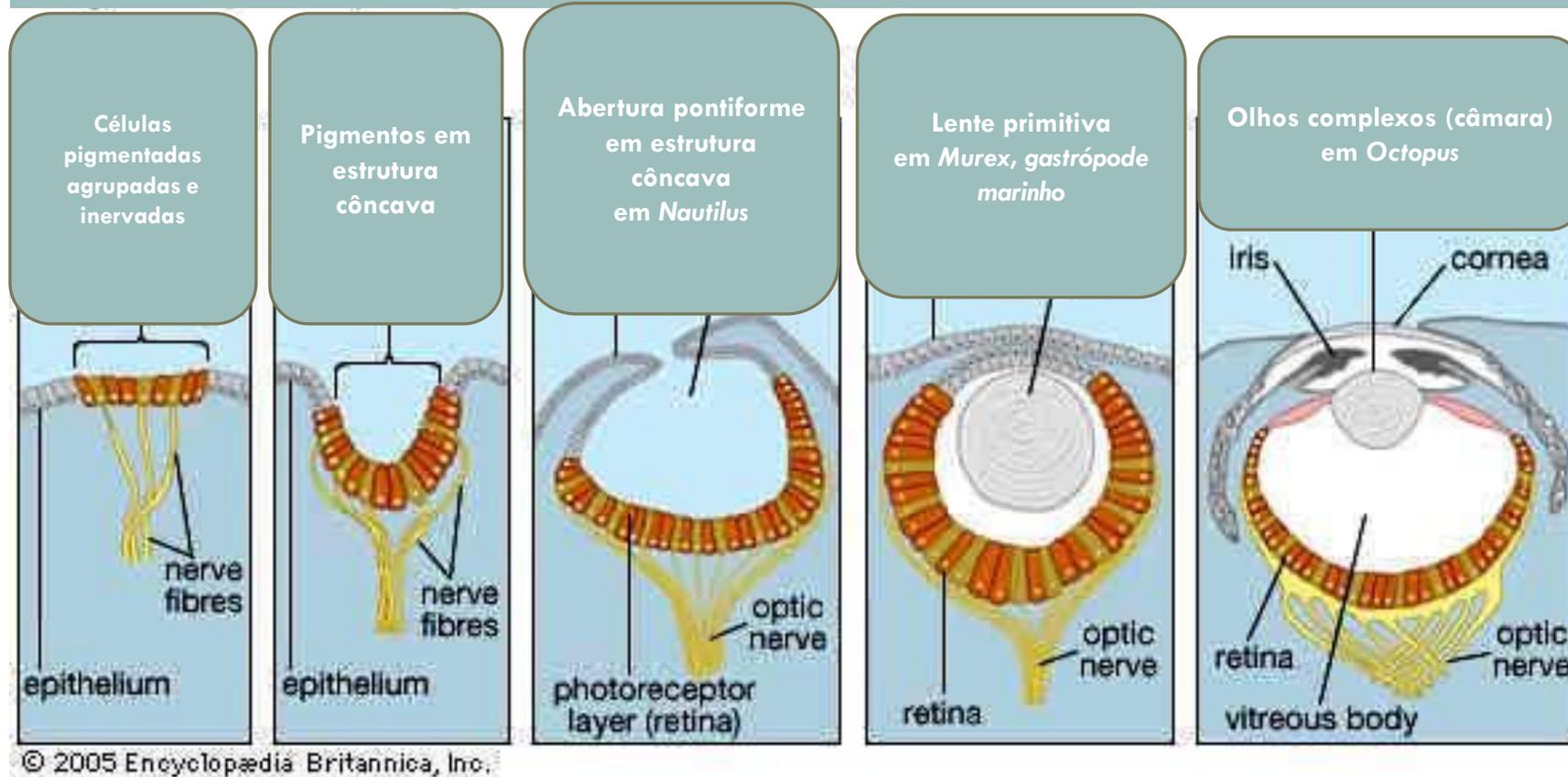
Insetos, crustáceos, em algumas espécies de moluscos e alguns grupos de anelídeos

* A **córnea** é uma **lente fixa**, o **crystalino** é uma lente regulável, **ajustável**, e aumenta as habilidades em ambientes nos quais a luminosidade não é constante.

RECEPTORES PODEM ESTAR ORGANIZADOS DE MANEIRA DIFERENTE EM UM MESMO CLADO

Quando consideramos um único clado podemos observar a fotorrecepção envolvendo desde estruturais simples até outras muito complexas. Em outras palavras, em geral, **não é possível correlacionar um tipo de receptor a um dado clado.**

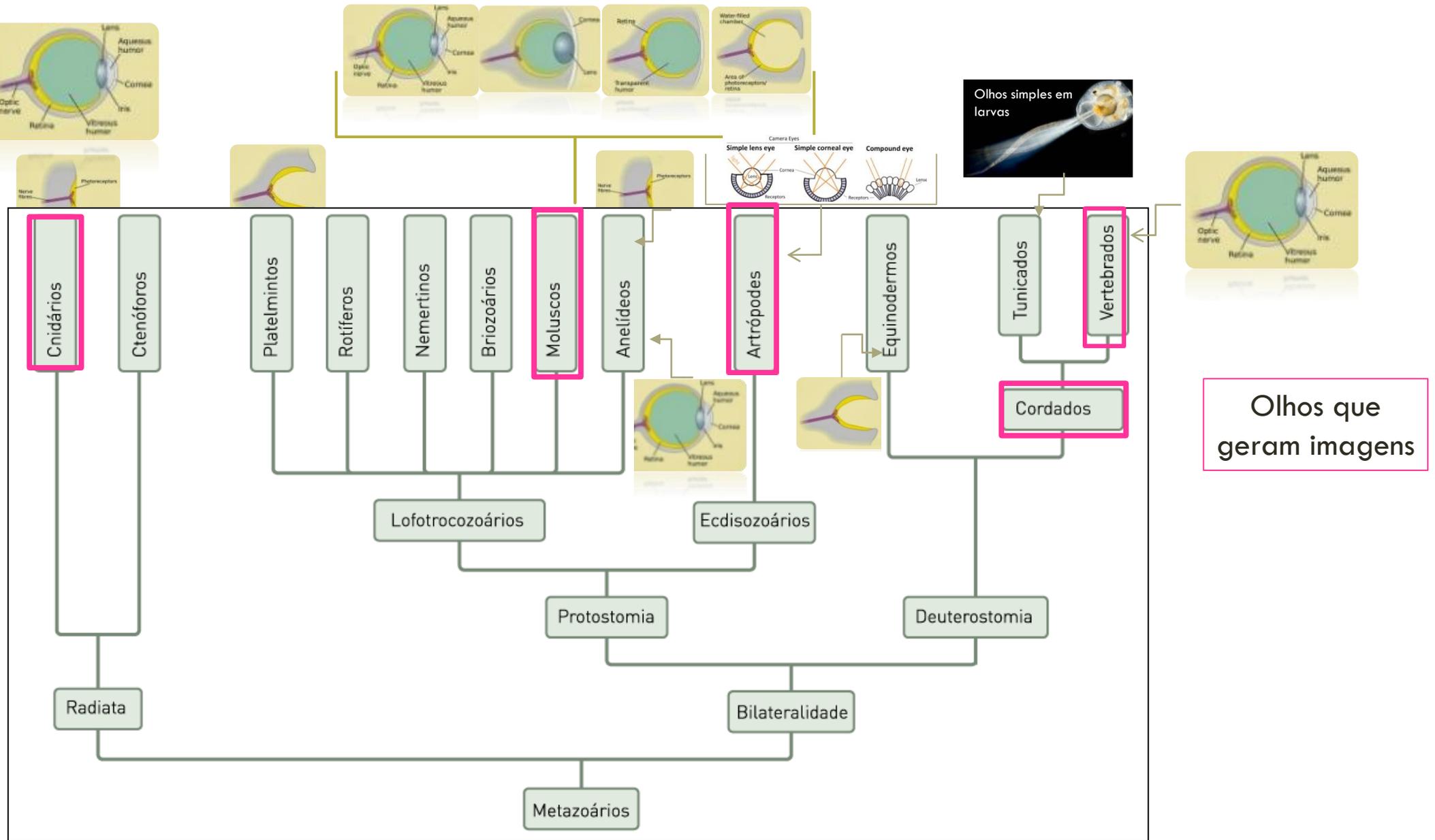
Diferentes estágios de complexidade da fotorrecepção em moluscos



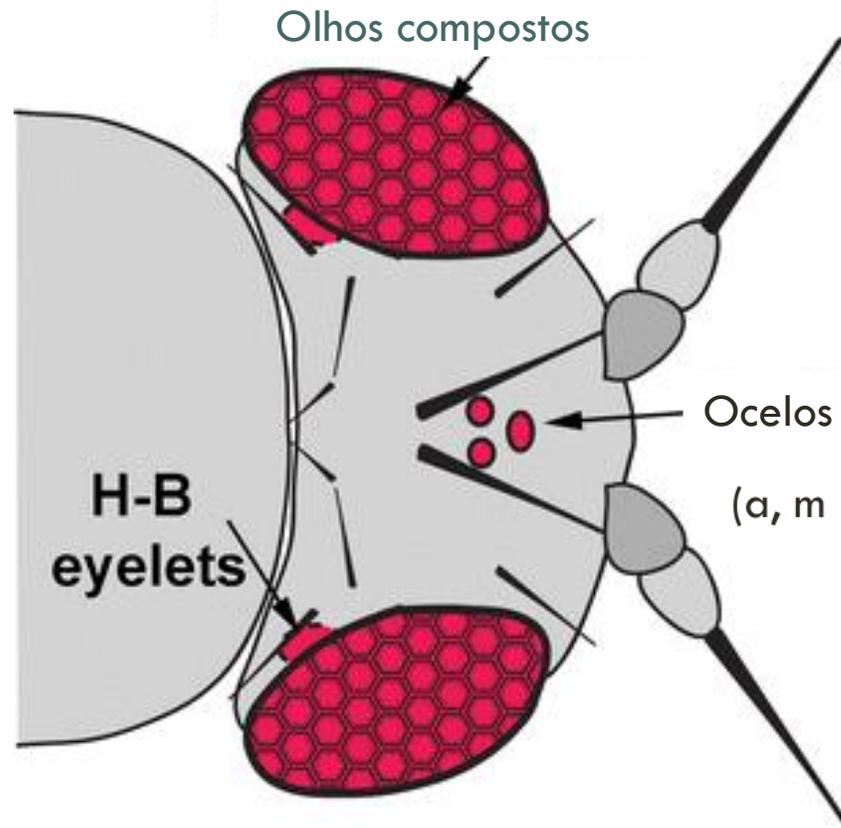
MOLLUSCA: EXEMPLO DE DIFERENTES TIPOS DE COMPLEXIDADE ORGANIZACIONAL DE FOTORRECEPTORES EM UM MESMO CLADO DE CAMADA DE FOTORRECEPTORES A CÂMARAS

EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE ESTRUTURAS FOTORRECEPTORAS EM METAZOA

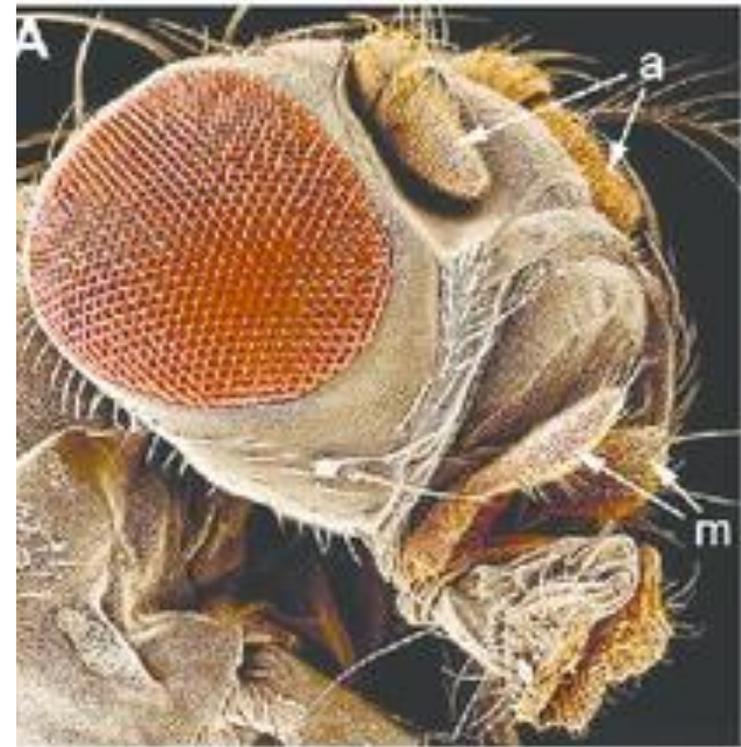
Adaptado de Moyes, , 2010



A COEXISTÊNCIA DE VÁRIOS TIPOS DE ESTRUTURAS FOTORRECEPTORAS OU COM OUTROS TIPOS DE RECEPTORES



Os sete olhos da *Drosophila* consistem de dois **olhos compostos**, três **ocelos** e dois **órgãos visuais modificados de BOLWIG** (H-B eyelets), que são estruturas relacionadas ao ritmo circadiano de locomoção dessas moscas.



A) A cabeça da *Drosophila melanogaster* (ME). O olho composto é formado de ~800 **omatídios**, cada qual com sua própria lente e **fotorreceptor**. É possível ver as cerdas das sensilas, estruturas que abrigam os neurônios **olfatórios** (a e m).

CARAVELA PORTUGUESA (*Physalia physalis*)

CNIDARIA, SIPHONOPHORA

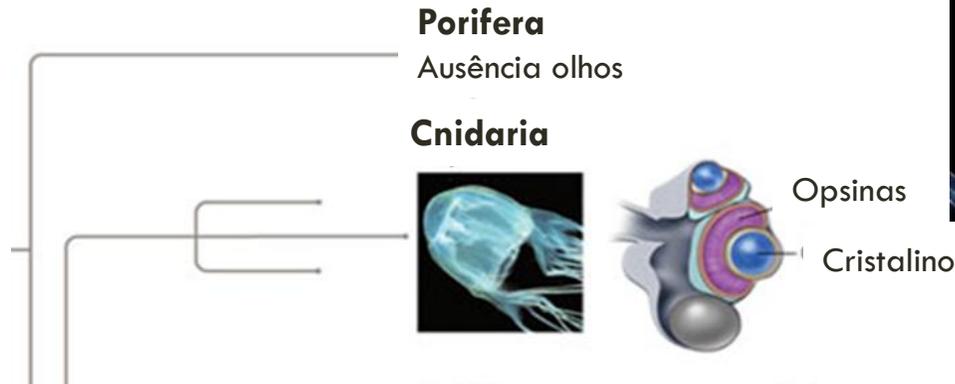


Cnidaria pode apresentar vários tipos de estruturas fotorreceptoras, inclusive coexistindo na mesma espécie.

Fotorreceptores estão localizados na epiderme ao **redor da boca** e na **região dos tentáculos**

As caravelas são capazes de detectar luz e distinguir claro e escuro, como as planárias

GRUPOS DE DIVERGÊNCIA MAIS ANTIGAS OLHOS EM CNIDARIA



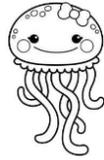
wordpress.com

Chironex fleckeri

Os cubozários ou cubomedusas (Cnidaria, Cubozoa) são predadores ativos. O sistema visual é único, com 24 olhos de quatro tipos morfológicos distintos. Apresentam vários comportamentos visualmente guiados, incluindo evitar obstáculos e atração por túneis de luz. A maneira como ocorrem esses processamentos é desconhecida, mas contraste de brilho e informações de cores do ambiente parecem ser importantes. O veneno de *C. flecki* causa aumento da permeabilidade ao potássio, hipercalemia, colapso cardíaco e morte dentro de 2 a 4 minutos.

Uéééé, o que fazem olhos complexos em animais sem cérebros???

Não tem cérebro, mas têm sistema nervoso, com anel nervoso, tolinho!

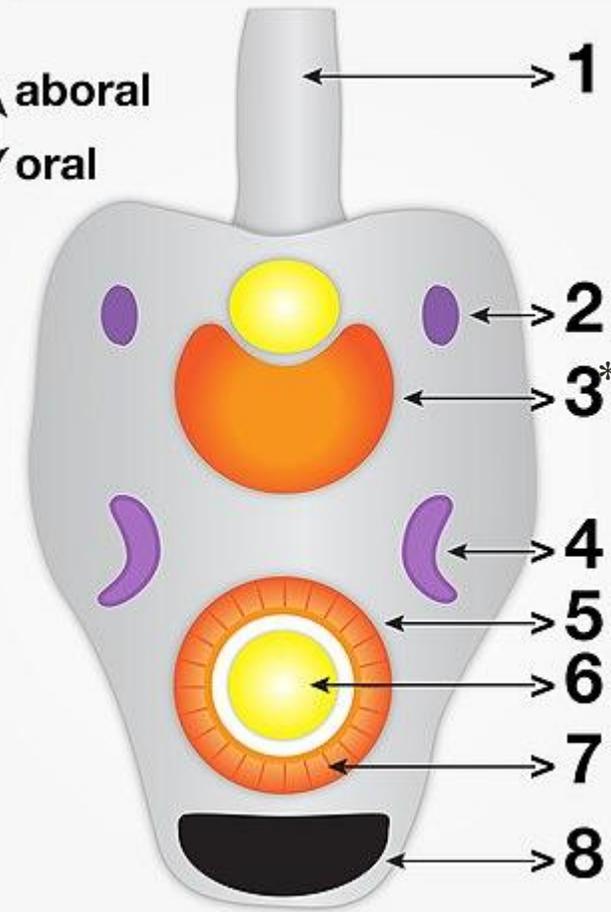


Cubozoa é uma classe que apresenta olhos complexos, mas o processamento é realizado sem cérebros. Em Cnidaria existem dois folhetos, o ectoderma e o endoderma, e há um anel nervoso e quatro estruturas sensoriais, os ropálios, com seis olhos em cada, de diferentes formatos, de câmara a fenda e fossa. Abaixo dos olhos existe um estatocisto, e cada estatocisto contém um grânulo de sulfato de cálcio, o estatólito, em que se formam anéis diários de crescimento. Os estatocistos são sensíveis à gravidade, e participam de movimentos de orientação, de maneira que os cubozoos habilmente localizam-se no espaço.

* Câmara (câmara na legenda)

F

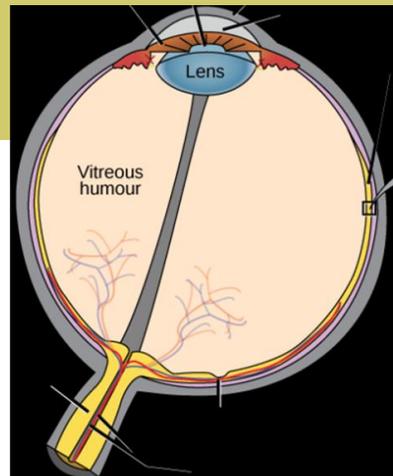
↑ aboral
↓ oral



Ropálio: (1) Haste; (2) Ocelos tipo Fossa; (3) Olho tipo câmara superior; (4) Ocelos tipo Fenda; (5) Olho tipo câmara inferior; (6) Lente; (7) Camada pigmentada; (8) Estatocisto (Wikipedia)

Fotorreceptores podem estar associados a estruturas que aumentam o desempenho da capacidade visual de organismos de várias maneiras, como provendo a focalização dos raios luminosos através de líquidos e das lentes. **Órgãos em câmaras** otimizam a capacidade visual por conterem várias estruturas com funções complementares. Nesses globos oculares pode existir (a) camada de pigmentos que absorvem a luz de maneira que os raios não reflitam e provoquem excesso de luz, (b) esfíncteres que regulam a quantidade de luz que entra (conhecidos como íris em vertebrados), (c) camadas vasculares (chamada de coróide em vertebrados), (d) lentes fixas (córnea) e variáveis (cristalino, em vertebrados), entre outras. Há muitas variações nos diferentes grupos de animais como será visto posteriormente.

OLHOS EM CÂMARAS



Olhos complexos surgiram de **50 a 100** vezes independentemente em **Cnidaria, Annelida (Polychaeta), Mollusca, Arthropoda e Vertebrata**. A visão de **alta resolução**, entretanto, evoluiu somente **três vezes** independentemente, em **vertebrados, moluscos cefalópodes e artrópodes**.

Eyes to See: The Astonishing Variety of Vision in Nature, M. Land, Oxford University Press, (2018), 320 pg

OLHOS COMPLEXOS EM METAZOA

A ACUIDADE VISUAL NO REINO ANIMAL

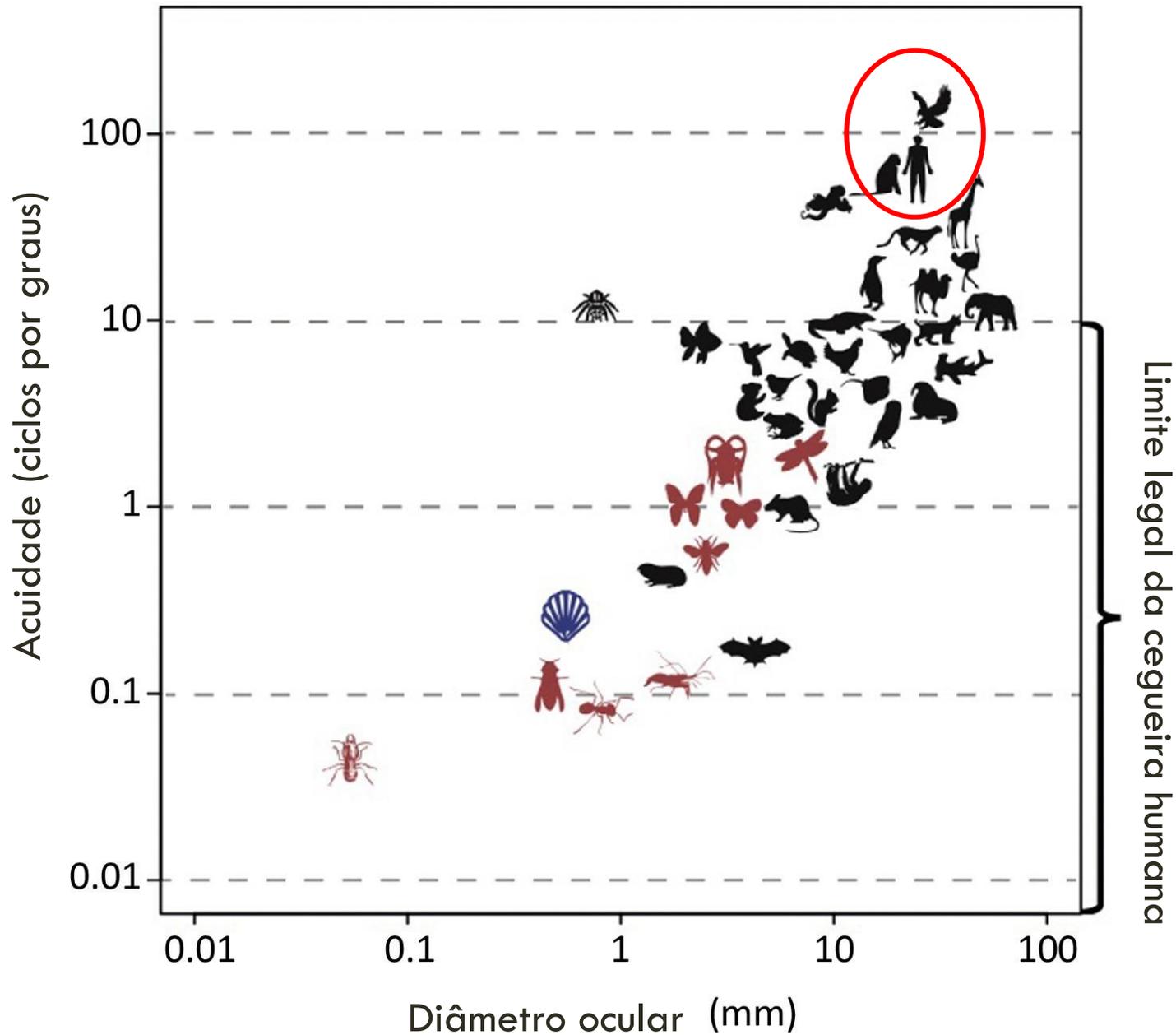
<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/06/20/144308-como-diferentes-especies-enxergam-a-acuidade-visual-no-reino-animal.html>

“O limite de detalhes que o olho humano pode enxergar é de cerca de 60 ciclos por grau, o que nos ajuda, por exemplo, a distinguir sinais de trânsito e reconhecer rostos de longe. Chimpanzés e outros primatas têm padrões semelhantes de acuidade.

Algumas aves de rapina são melhores que nós nesse quesito. Por exemplo, a águia-audaz, da Austrália, pode ver 140 ciclos por grau. Isso significa que pode detectar algo tão pequeno quanto um coelho enquanto voa a milhares de metros acima do solo. Além de algumas águias, abutres e falcões, no entanto, a maioria das aves vê menos de 30 ciclos por grau.

A maior acuidade em um peixe ainda é apenas cerca de metade da espécie humana, segundo Caves.

Além disso, seres humanos têm uma visão quatro a sete vezes mais detalhada do que cães e gatos, e mais de cem vezes mais detalhada do que um rato ou uma mosca. A título de comparação, uma pessoa que vê menos de 10 ciclos por grau é considerada legalmente cega. A maioria dos insetos não consegue ver mais de um ciclo por grau.”



A espécie humana é uma das de maior anuidade visual no reino animal. Na figura ao lado os olhos em câmaras estão desenhados em preto, e os compostos em vermelho. Em azul estão os olhos em espelho (*mirror eyes*) dos escalopes.

O círculo vermelho mostra os grandes valores da espécie humana e de um falcão.

Figura e texto do próximo slide.
 Visual Acuity and the Evolution of Signals 2018,
 33 (5): 358-372
 Caves, EM; Brandley, NC; Johnsen, S. Trends in
 Ecology & Evolution.

Teste de acuidade visual

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
D E F P O T E C	7	20/20

Acuidade: a capacidade de ver com clareza e nitidez

Teste de Snellen

Vídeo

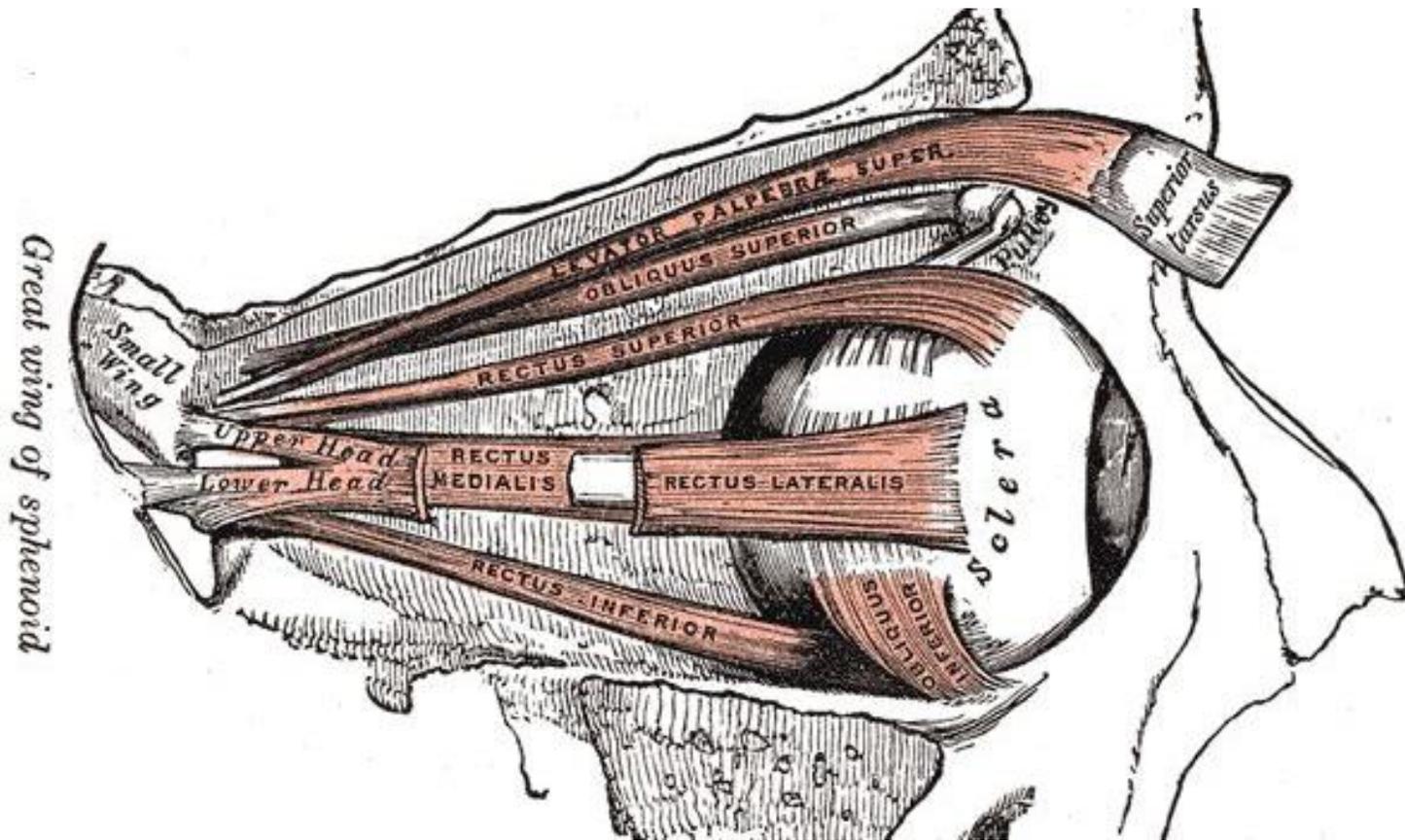
<https://www.youtube.com/watch?v=Y0iTUCy-Zgg>

ACUITY ACROSS SPECIES

Although several eagles, vultures, and falcons have acuities that are higher than (or equivalent to) that of humans (~60 cpd), beyond raptors, the maximum published acuity in birds is only 41 cpd (the laughing kookaburra *Dacelo novaeguineae*). A compilation of acuity values from 93 bird species shows that acuity in adult birds ranges from only 4 cpd (the barn owl *Tyto alba pratincola*) up to 138 cpd (the eagle *Aquila audax*). However, the median acuity in birds is 11 cpd, and 84% of acuity estimates in birds are below 30 cpd.

Acuity is similarly variable across mammals and ray-finned fishes 28, 38. Acuity in non-human mammals ranges from a high in the chimpanzee (*Pan troglodytes*, 64 cpd to a low in mouse-eared bats (*Myotis* spp., 0.1 cpd [J. Eklöf, PhD thesis, Göteborg University, 2003]). The highest acuities among fishes are in large predatory species, including the rock bass (*Ambloplites rupestris*, 40 cpd and Atlantic sailfish (*Istiophorus albicans*, 32 cpd), while the lowest is found in the Japanese rice fish (*Oryzias latipes*, 0.56 cpd). Among elasmobranchs, acuity ranges from a low in the bamboo shark (*Chiloscyllium punctatum*, 2.0 cpd) up to a high in the bigeye thresher shark (*Alopias superciliosus*, 11 cpd). Beyond birds, fish, and mammals, little is known about acuity in other vertebrate groups, such as reptiles (but see [47] and references therein) and amphibians.

Among invertebrates, the highest known acuities occur in animals with camera eyes, for example gastropods, cephalopods, spiders, and scorpions. The octopus *Octopus vulgaris* has acuity on par with large fish (46 cpd 49, 50). Certain spiders have exceptionally high acuity for their size, for example, the jumping spider *Portia fimbriata* has acuity on par with passerine birds, at 13 cpd. Most known acuities in compound eyes come from insects, the highest of which occurs in the dragonfly *Anax junius* (2 cpd. However, 98% of published acuity values for insects are below 1.0 cpd and the median acuity among measured insects is only 0.25 cpd. Outside of insects, eye morphology in 96 species of decapod crustaceans suggests that acuity ranges only up to 0.4 cpd. Although a handful of other data points exist, little is known about acuity in other invertebrates. Overall, however, the majority of species have acuity that is far lower than that of humans.



MÚSCULOS EXTRAOCULARES

OS OLHOS SE MEXEM. SEMPRE?

A figura ao lado mostra o globo ocular na órbita óssea, observe os SEIS músculos esqueléticos (em rosa) que são responsáveis pelo movimento dos olhos. Para que a visão seja eficiente é importante que os olhos acompanhe os movimentos dos objetos de interesse.

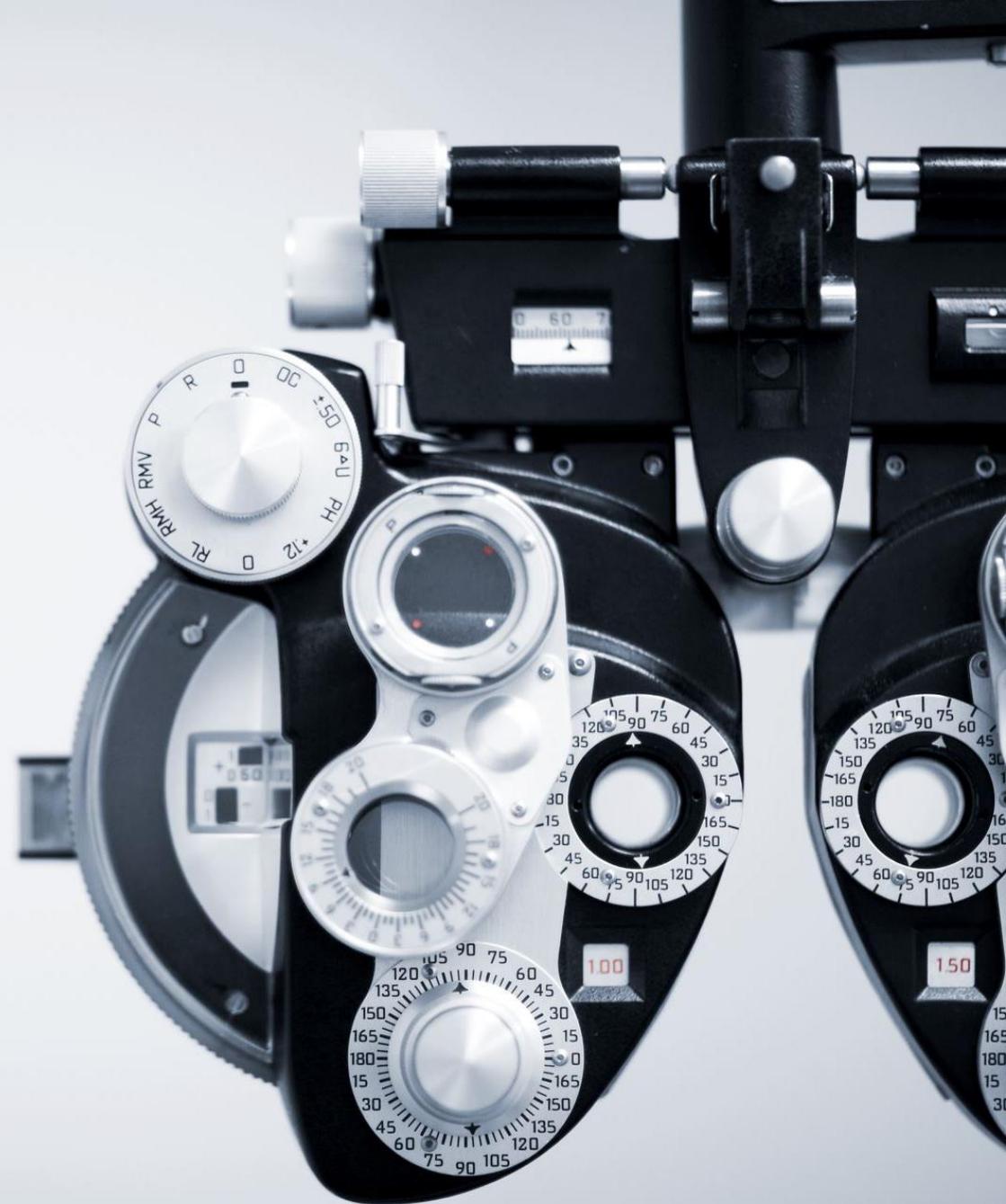
Os SEIS músculos são: os oblíquos (superior e inferior), os retos (lateral, medial, superior e inferior).

A figura ainda mostra o músculo elevador da pálpebra, que eleva a pálpebra superior.

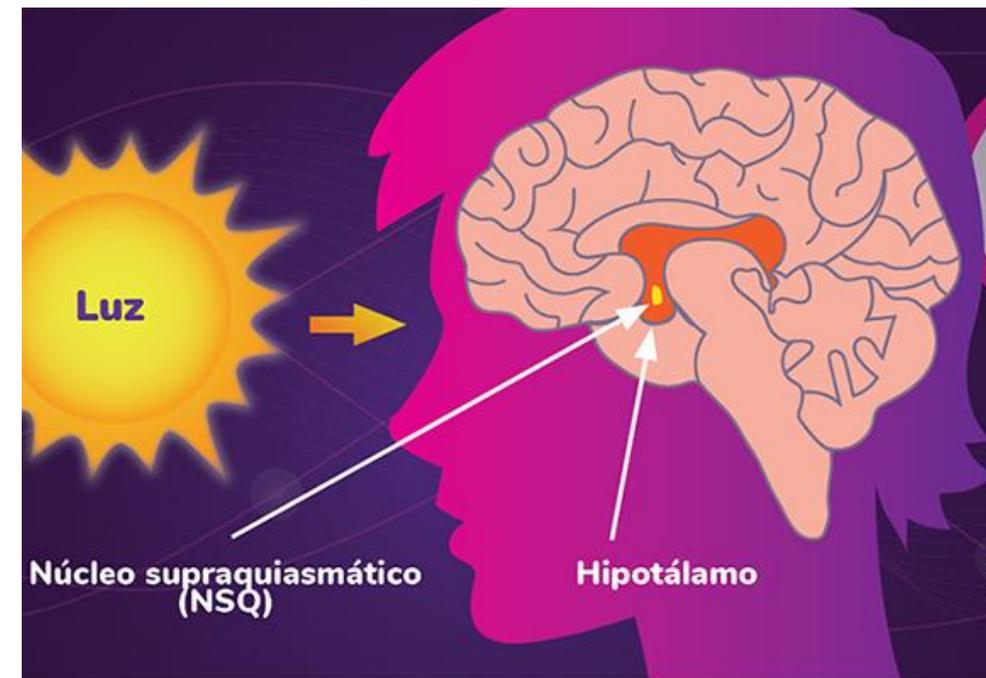
Esses músculos estão presentes nas **lampreias** (Petromyzontida) e nos **Gnathostomata**, e ausentes nas feiticeiras (Myxini). Suzuki et al. Zoological Letters (2016) 2:10.

PROCESSAMENTO

“**Visual Processing** pertains to the ability to **perceive, analyze, synthesize, and think** with **visual patterns** and involves the ability to **store and recall visual representations** via **visual imagery and visual memory**” (Carroll, 1993)



O Sistema Visual (SV) compreende o órgão sensorial (olhos) e parte do Sistema Nervosa Central (retina com os fotorreceptores, o nervo óptico, o trato óptico, o tálamo visual e o córtex visual). Estes elementos permitem que os organismos tenham o sentido da visão (a habilidade de detectar e processar a luz visível), assim como a formação de várias respostas funcionais sem imagens a partir da luz. O SV detecta e interpreta informações a partir do espectro perceptível para aquela espécie e “constrói representações” do ambiente. O SV está envolvido com um grande número de tarefas complexas, que incluem desde a recepção da luz, a formação de representações monoculares, a visão de cor, a percepção da distância de objetos e entre objetos, a identificação de objetos particulares de interesse, a percepção do movimento, a análise e integração da informação visual, ao reconhecimento de padrões, a coordenação motora acurada a partir da visão e mais. O aspecto neuropsicológico do processamento da informação visual é conhecido como PERCEPÇÃO VISUAL, a anormalidade é chamada de comprometimento visual, e a ausência é cegueira. Funções visuais não dependentes da formação da imagem incluem, entre outros, o **reflexo pupilar a luz** e aspectos da **cronobiologia** (Trad. ESO)



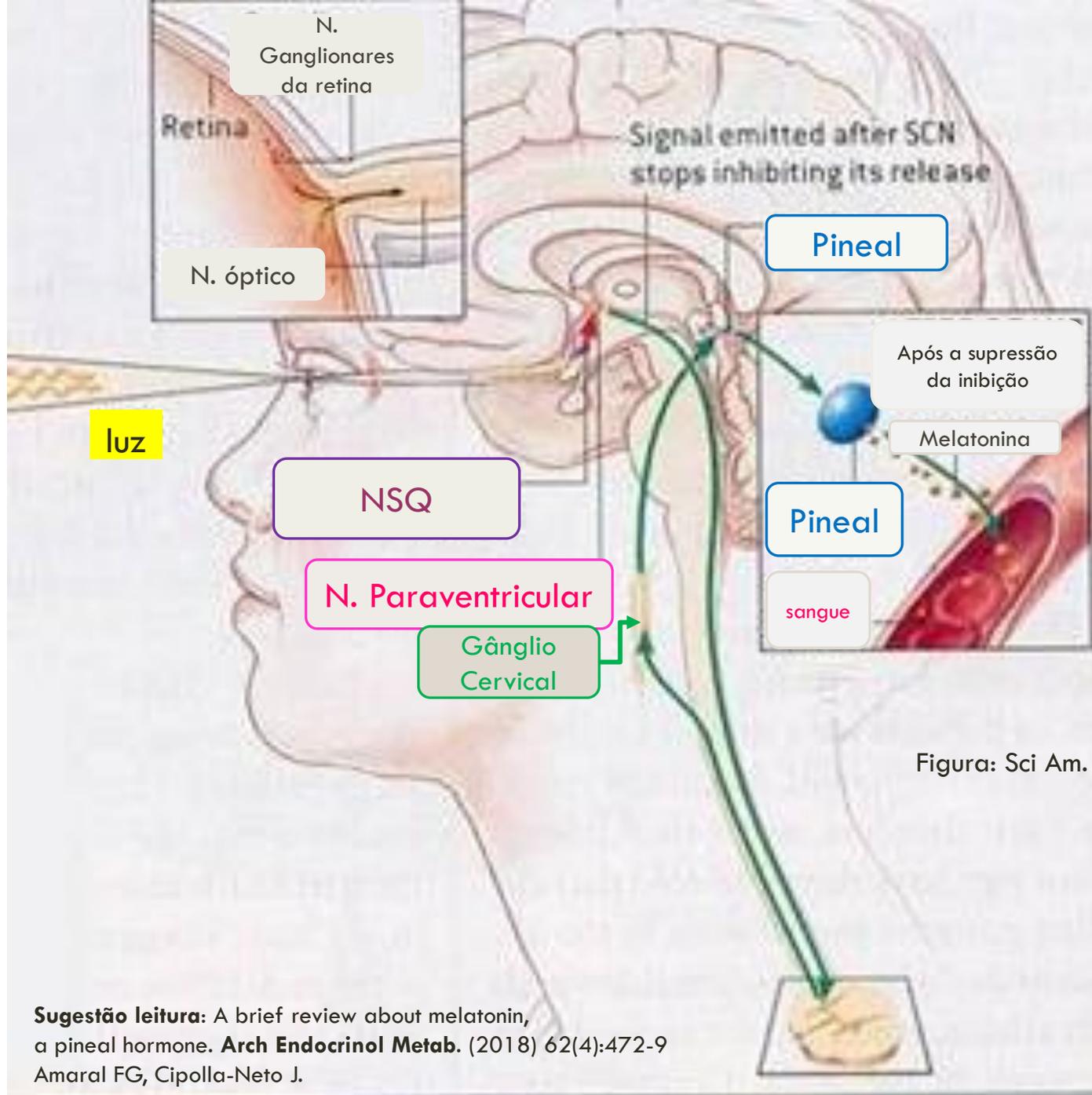


Figura: Sci Am.

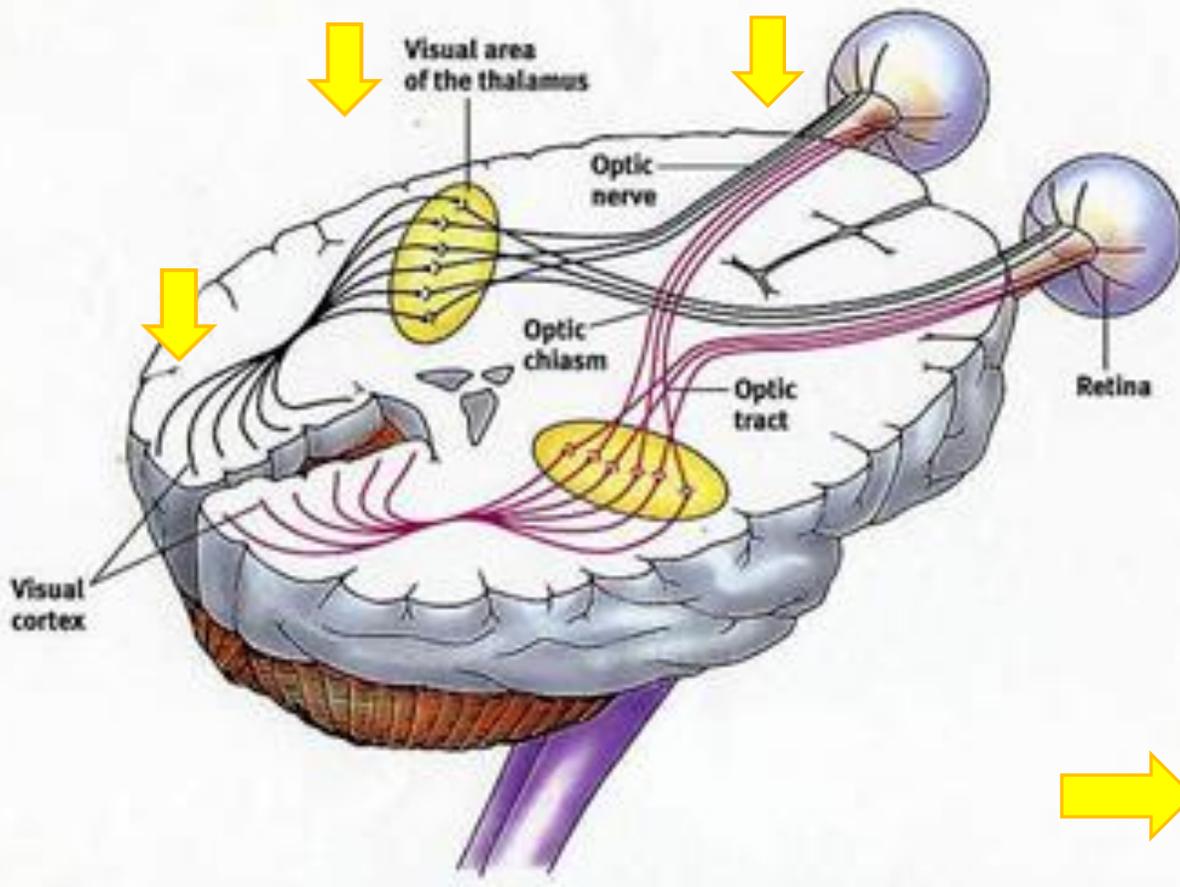
Sugestão leitura: A brief review about melatonin, a pineal hormone. *Arch Endocrinol Metab.* (2018) 62(4):472-9
Amaral FG, Cipolla-Neto J.

Cronobiologia:

Retina > via **retinohipotalâmica (TRH)** > **Núcleo Supraquiasmático no Hipotálamo (o NSQ)** é o principal relógio biológico em vertebrados).

Os fotorreceptores na retina (quadro à esquerda) são **neurônios ganglionares específicos** que não se conectam com cones e bastonetes, mas se projetam ao **NSC** pelo TRH. Durante o dia a presença da luz inibe a liberação de melatonina (MEL) pela PINEAL e a serotonina (5HT) acumula-se nessa glândula. Durante a noite essa influência inibitória do NSC sobre o simpático, via N. Paraventricular, é suprimida e os neurônios motores do simpático, na Medula Espinhal e no Gânglio Cervical promovem a liberação de MELATONINA na corrente sanguínea (quadro à direita).

Essa **informação hormonal (MEL)** ajusta **vários outros sistemas, inclusive os do sono.**



No desenho ao lado está representado um encéfalo humano cortado horizontalmente ao meio. A região anterior (frontal) está sinalizada pelos pares de olhos. A informação luminosa é transduzida na retina e o caminho percorrido é o seguinte: **Fotorreceptores** na retina > **Nervos ópticos** (II Par de Nervos Cranianos) > **Tálamo** (em amarelo, parte lateral do diencefalo, que é uma estrutura na região do meio do encéfalo) > **Córtex Visual** (região posterior do encéfalo, chamada de **Lobo Occipital**). Este esquema é seguido por qualquer outra modalidade sensorial, com regiões específicas no tálamo e neocórtex para cada uma.

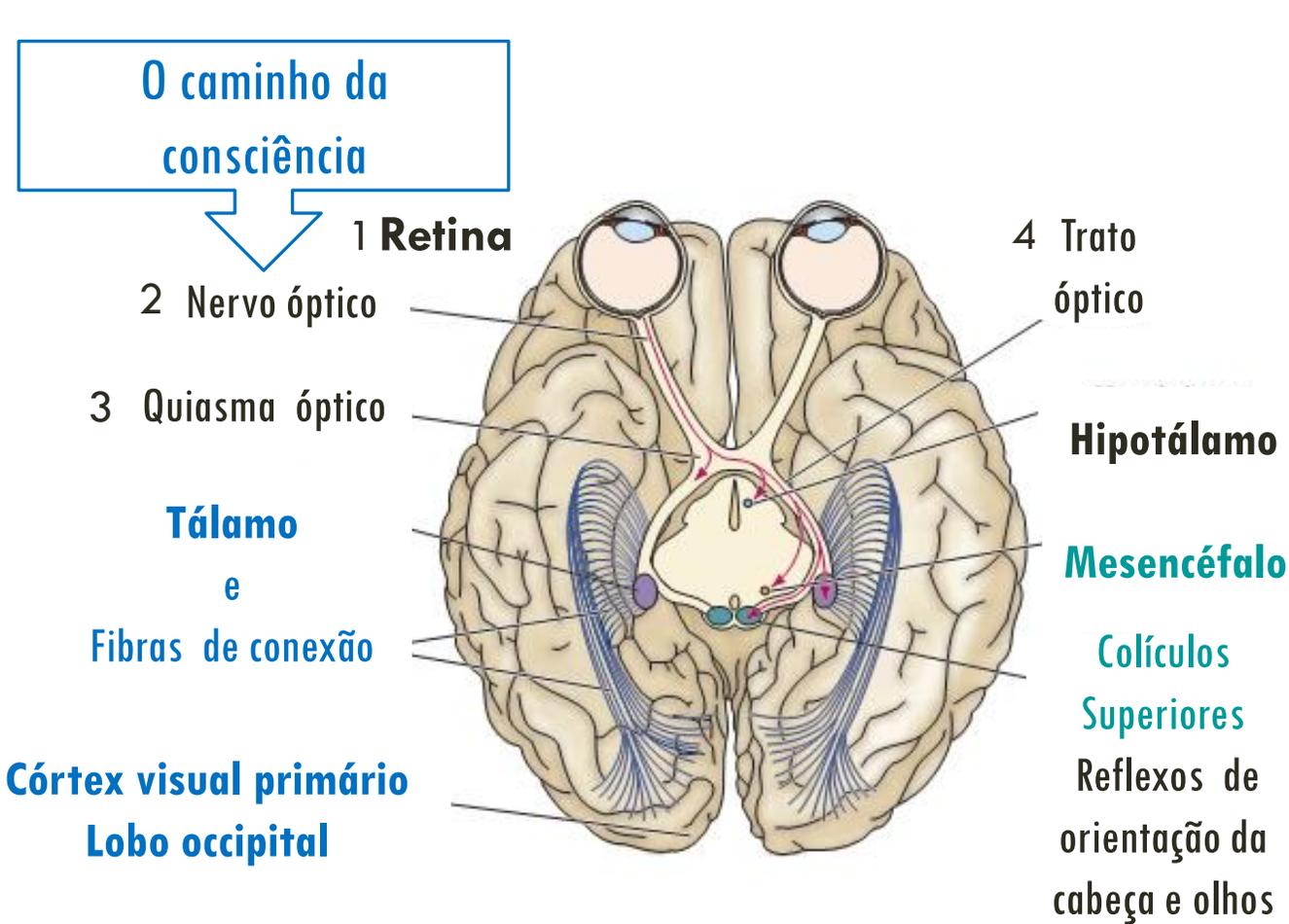
Processamentos complexos acontecem no **Lobo Temporal**

PROCESSAMENTO SENSORIAL

Há uma cadeia de eventos que se inicia no **Receptores** > Nervos (Vias) > **Núcleos do Tálamo** e **Córtex Sensorial** (Processamento)

Todas as estruturas são específicas. A inervação dos órgãos dos sentidos, que estão na cabeça, os nervos são sempre os cranianos.

FUNÇÕES DA VISÃO E SUAS VIAS: CONSCIÊNCIA, REFLEXOS, CRONOBIOLOGIA



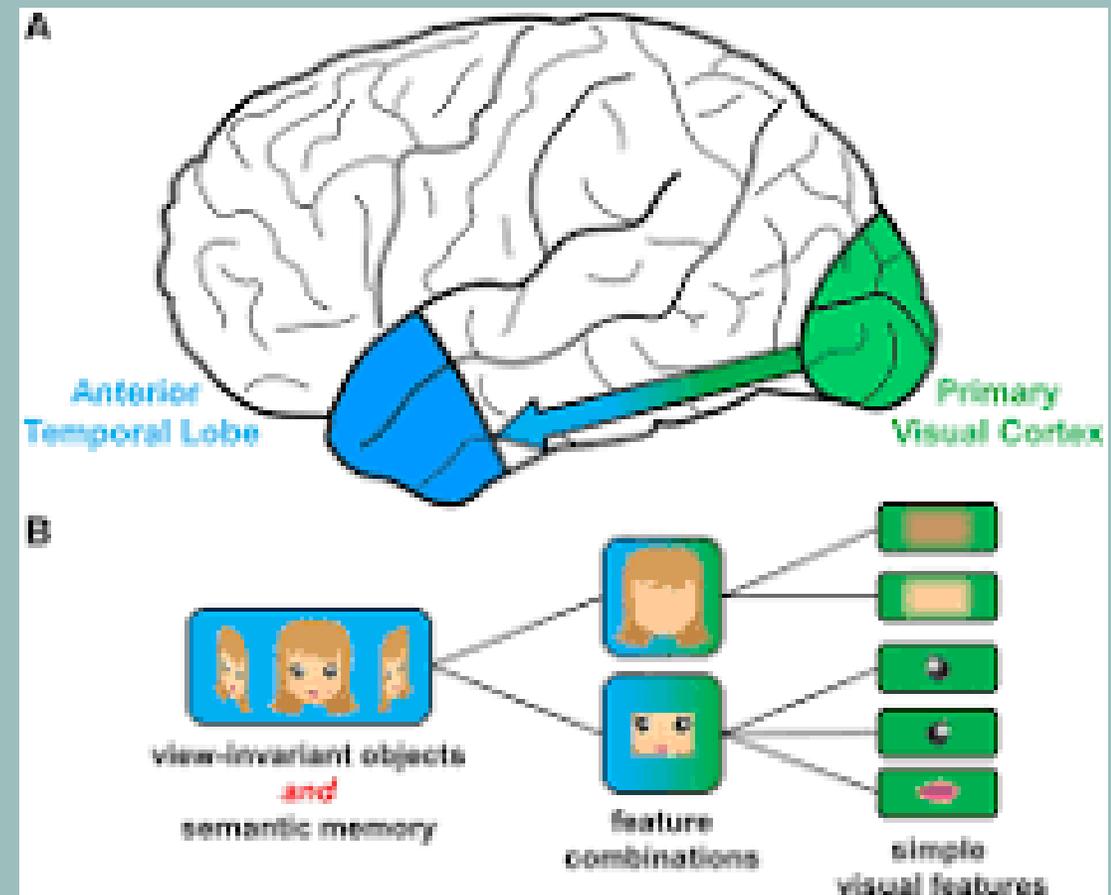
A retina via nervo óptico e trato óptico envia informações para o **tálamo** que se comunica com o córtex visual: é a via da consciência.

A retina via nervo óptico e trato óptico envia informações também para o **hipotálamo** (relógio biológico).

A retina via nervo óptico e trato óptico envia informações também para o **Mesencéfalo** (**colículo superior** e **teto óptico**) que elabora respostas reflexas (pupilar, de acomodação, e de orientação).

Para facilitar a visualização são mostradas as fibras do olho direito, que cruzam e formam o trato óptico direito (em lilás).

PROCESSAMENTO VISUAL SUPERIOR



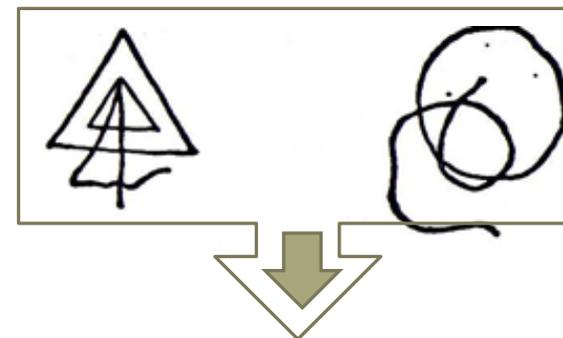
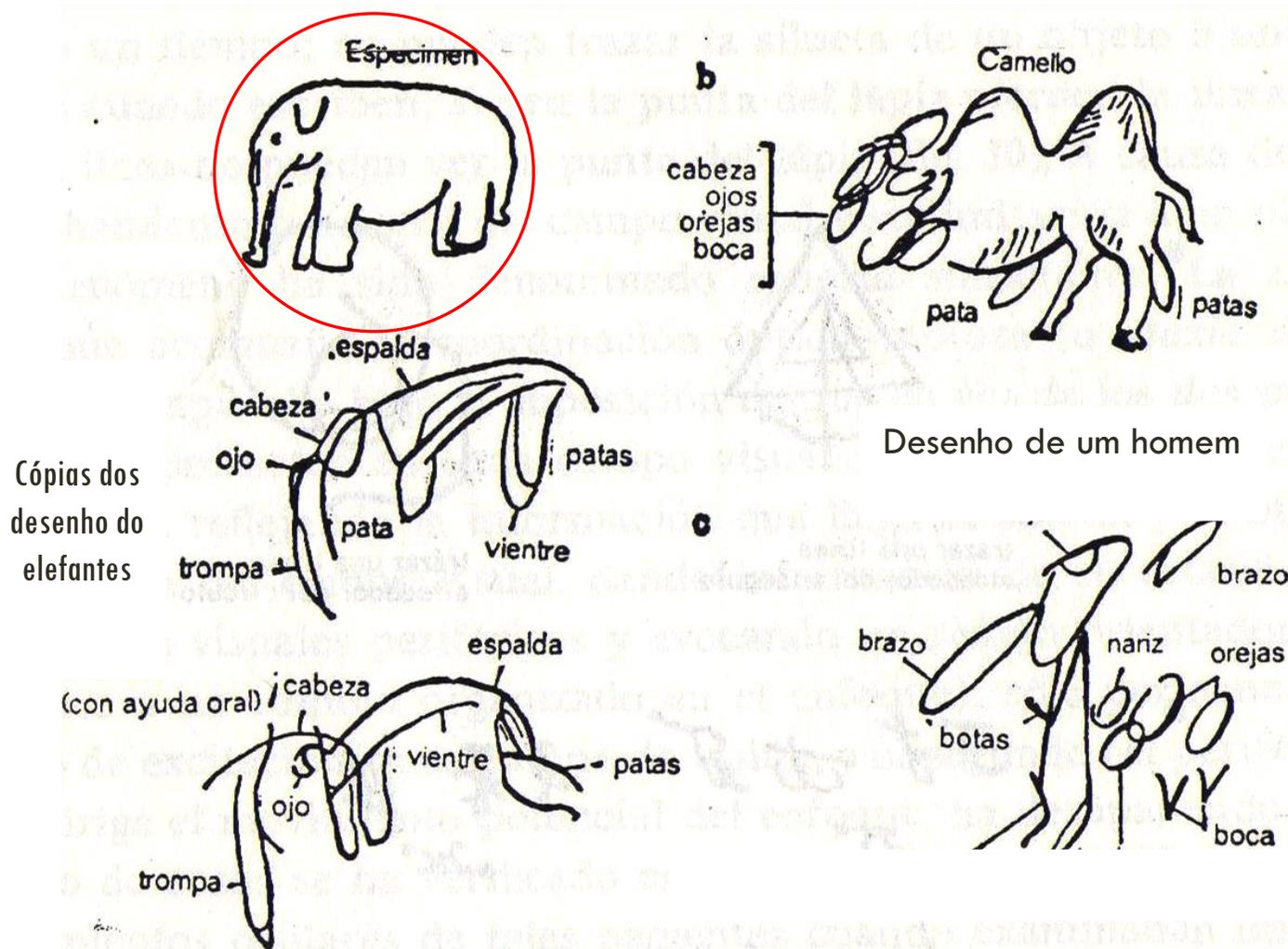
As áreas associativas (secundárias e terciárias) no LOBO TEMPORAL interpretam o significado do estímulo visual e o reconhecimento de objetos. A parte VENTRAL (Giro fusiforme) está envolvida com o processamento de estímulos complexos (reconhecimento de faces) e cenas (Giro parahipocampal)

AGNOSIA VISUAL

LESÃO DO CÓRTEX VISUAL DE ORDEM SUPERIOR (ASSOCIATIVO)

Modelo que deve ser copiado

As execuções dos desenhos em pacientes com lesões



Incapacidade de traçar uma linha ao redor de um desenho já traçado

No círculo o desenho a ser copiado, e abaixo as tentativas