

Percepção
visual

S. Mogo

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

Introdução ao estudo da percepção visual e função duplice da retina

Percepção visual I

S. Mogo

Departamento de Física
Universidade da Beira Interior

2015 / 16

Outline

1 Funcionamento da disciplina

Programa

Bibliografia

Avaliação

2 Introdução

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Pode-se enganar o cérebro?

3 A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adaptação ao escuro

Adaptação à luz

Resolução espacial e somação espacial

Resolução temporal e somação temporal

Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau

Outline

1 Funcionamento da disciplina

Programa

Bibliografia

Avaliação

2 Introdução

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Pode-se enganar o cérebro?

3 A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adaptação ao escuro

Adaptação à luz

Resolução espacial e somação espacial

Resolução temporal e somação temporal

Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau

Programa da disciplina

Percep. Vis. I

Programa
Bibliografia
Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?
Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores
Fotopigmentos
Adapt. ao escuro
Adapt. à luz
Resolução espacial
Resolução temporal
Stiles-Crawford

- 1 A natureza dúplice da retina
- 2 Radiometria e fotometria
- 3 Princípios da medição psicofísica
- 4 Percepção do espaço

Aulas práticas

- 1 Efeito de Purkinje
- 2 Medição da mancha cega
- 3 Lei de Weber e lei de Stevens
- 4 Lei do inverso do quadrado da distância
- 5 Lei de Lambert
- 6 Lei da aditividade de Abney
- 7 Níveis de iluminação em ambientes de trabalho
- 8 Formas de AV
- 9 AV potencial
- 10 Função de sensibilidade ao contraste acromática
- 11 Campos visuais

Bibliografia recomendada

Principal:

- Schwartz, S.: ***Visual Perception: A Clinical Orientation***, 4th.ed., McGraw-Hill Publishing Co., 2010.
Biblioteca central, piso 0, cotas F-3.2/520 (2nd.ed., 1999); F-7.1/00023 (3rd.ed., 2004).

De apoio:

- Thompson, P.; Troscianko, T.: ***Basic vision: an introduction to visual perception***, Rev. ed., Oxford University Press, 2011.
- Wandell, B.: ***Foundations of Vision***, Sinauer, Sunderland, 1995.
Biblioteca central, piso 0, cotas F-3.2/00451; F-3.2/00452; F-3.2/00453; F-3.2/00470; F-3.2/00476.

Apontamentos

Apontamentos Guias de laboratório Fichas de exercícios

<http://webx.ubi.pt/~smogo/disciplinas/disciplinas.html>

Classificação de ensino-aprendizagem

Obtenção de frequência e aprovação por frequência

Para **obtenção de frequência**, cada estudante deverá:

- frequentar assiduamente as aulas práticas da disciplina (sendo-lhe permitida apenas 1 falta não justificada), obtendo a classificação P , através da apresentação obrigatória de um relatório escrito por cada trabalho realizado (as normas para elaboração dos relatórios serão apresentadas na aula prática);
- entregar os relatórios no prazo de 1 semana após a realização de cada trabalho;
- ter um número mínimo de presenças em aulas teórico-práticas igual a metade das aulas leccionadas;
- efectuar um teste teórico (T) [04.01.2015 - 18:00, sala XX/XX];
- obter classificação superior a 6,5 valores na classificação de ensino-aprendizagem (CEA), obtida através da expressão:

$$CEA = 2/3T + 1/3P.$$

O aluno obtém **aprovação por frequência** e fica dispensado de exame se $T \geq 9,5$ valores e $P \geq 9,5$ valores.

Aprovação por exame

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

A aprovação por exame será obtida se o aluno obtiver classificação final (CF) igual ou superior a 9,5 valores, sendo CF obtida através da expressão:

$$CF = 1/2CEA + 1/2E,$$

onde E = teste de exame.

Trabalhadores-estudantes

Os estudantes com **regime de trabalhador estudante** ficam libertos da presença às aulas e poderão optar por um regime alternativo para obtenção da componente prática, *P*, funcionando a *CEA* e a *CF* da mesma maneira que para os restantes estudantes. Este regime consiste na elaboração de um trabalho, orientado pelo docente, e para usufruir dele o aluno deve inscrever-se até à segunda semana de aulas.

Data limite para entrega do trabalho: dia de realização do teste teórico.

Outline

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

1 Funcionamento da disciplina

Programa

Bibliografia

Avaliação

2 Introdução

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Pode-se enganar o cérebro?

3 A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adaptação ao escuro

Adaptação à luz

Resolução espacial e somação espacial

Resolução temporal e somação temporal

Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau

A visão proporciona cerca de 80% das nossas entradas sensoriais.

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

A visão é uma função perceptiva fundamentalmente aprendida nos organismos superiores.

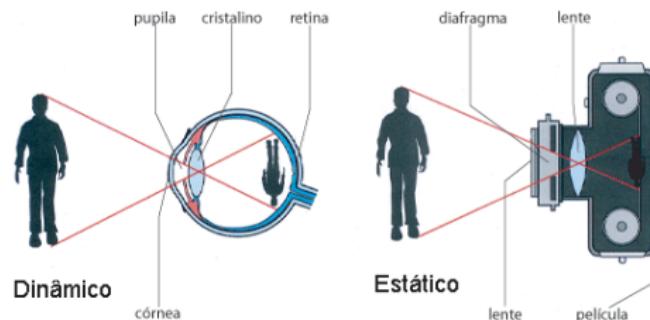
A experiência visual passa por três fases absolutamente necessárias:

- física (ou óptica);
- fisiológica;
- perceptiva (ou psicológica).

Processo de visão

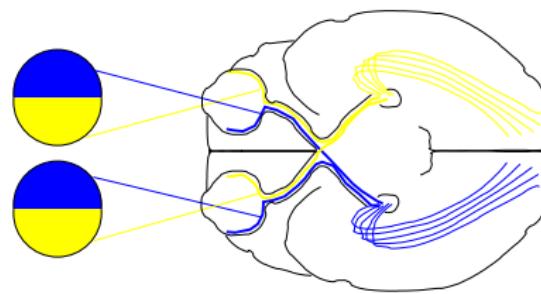
Fase física ou óptica

- o olho proporciona uma imagem retiniana o mais perfeita possível: relativamente luminosa, contrastada, focada e livre de aberrações.



<http://www.coepiaui.com.br/txt.php?id=55>

- a imagem é recebida pelas células sensoriais nervosas da retina (cones e bastonetes) e é enviada ao córtex visual através das fitas ópticas, corpos geniculados e radiações ópticas;
 - no córtex visual, os estímulos nervosos são processados e interpretados em termos de contraste, orientação, cor, profundidade e outras características que permitem a identificação da imagem original;



Processo de visão

Fase perceptiva ou psicológica

- a partir da captação destes aspectos particulares dos objectos, o cérebro proporciona-nos uma representação simbólica do mundo exterior;
- esta representação consiste numa imagem que aparece diante de nós, aproximadamente no lugar onde calculamos que estão os objectos.

Sugestão de leitura: “*REALIDADES VIRTUALES?*”, Fernando Muñoz Box

Percepção
visual

S. Mogo

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?



Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Where is the hidden tiger?

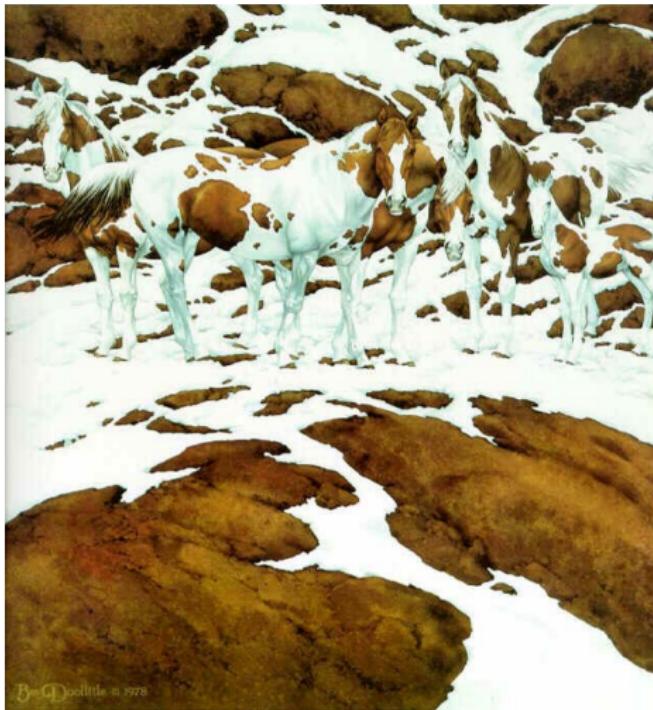


The hidden tiger, Rusty Rust (American wildlife artist)

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?



Nascemos a ver ou aprendemos a ver?



Percepção
visual

S. Mogo

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

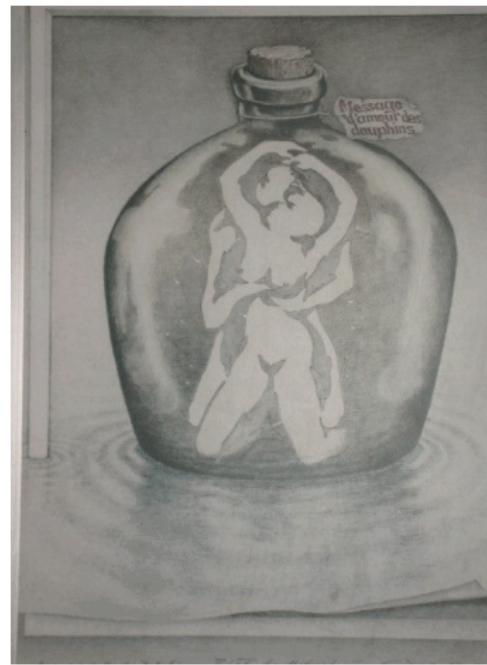
Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Percepção crianças X adultos



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa
Bibliografia
Avaliação

Introdução

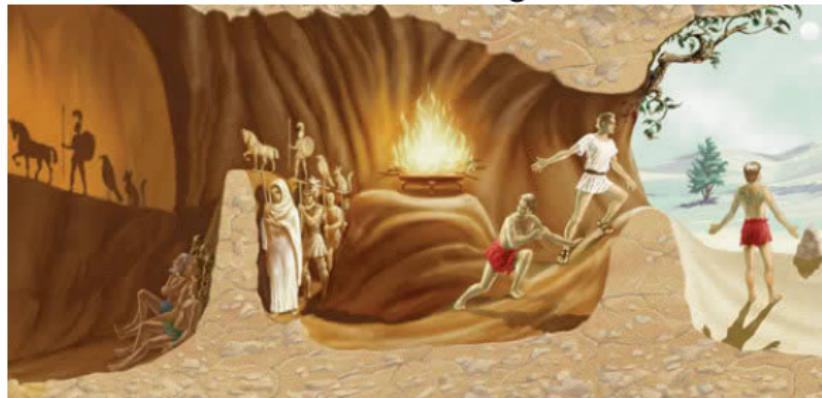
Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores
Fotopigmentos
Adapt. ao escuro
Adapt. à luz
Resolução espacial
Resolução temporal
Stiles-Crawford

As sombras de Platão: Alegoria da caverna



<http://www.50ideias.com/a-caverna-de-platao/>

Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

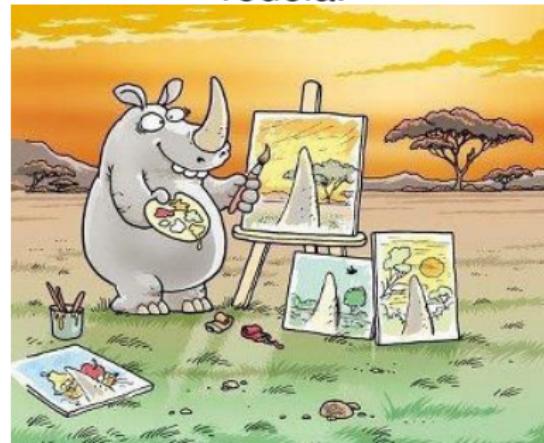
Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

Todos temos percepções diferentes do mundo que nos rodeia.



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

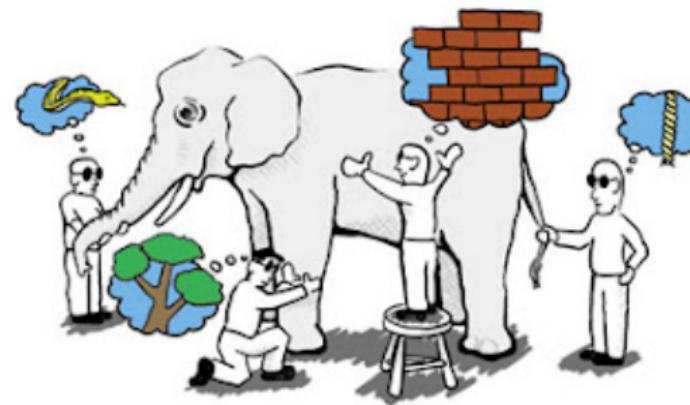
Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

E o mesmo efeito pode ocorrer com outros sentidos, não apenas com a visão.



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa
Bibliografia
Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores
Fotopigmentos
Adapt. ao escuro
Adapt. à luz
Resolução espacial
Resolução temporal
Stiles-Crawford

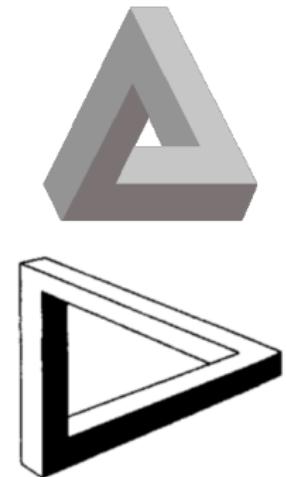
Ainda as sombras de Platão...



<http://citadino.blogspot.com/2010/01/platao-alegoria-da-caverna.html>

Ilustração de como o senso comum e falsas crenças podem aprisionar-nos à ilusão de uma realidade.

Pode-se enganar o cérebro?



Waterfall, Maurits C. Escher (1961)

Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

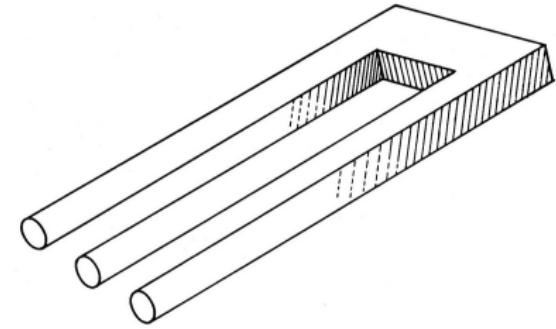
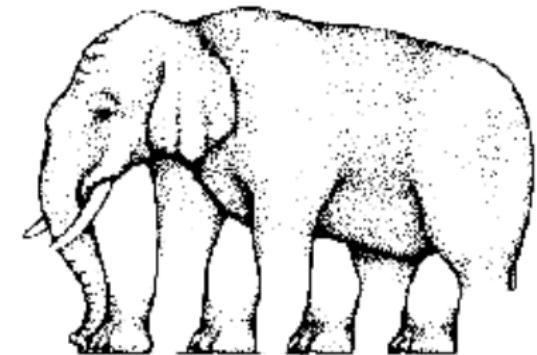
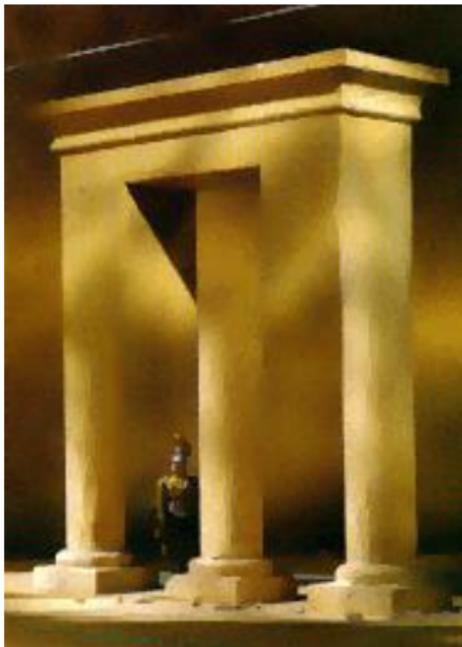
Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

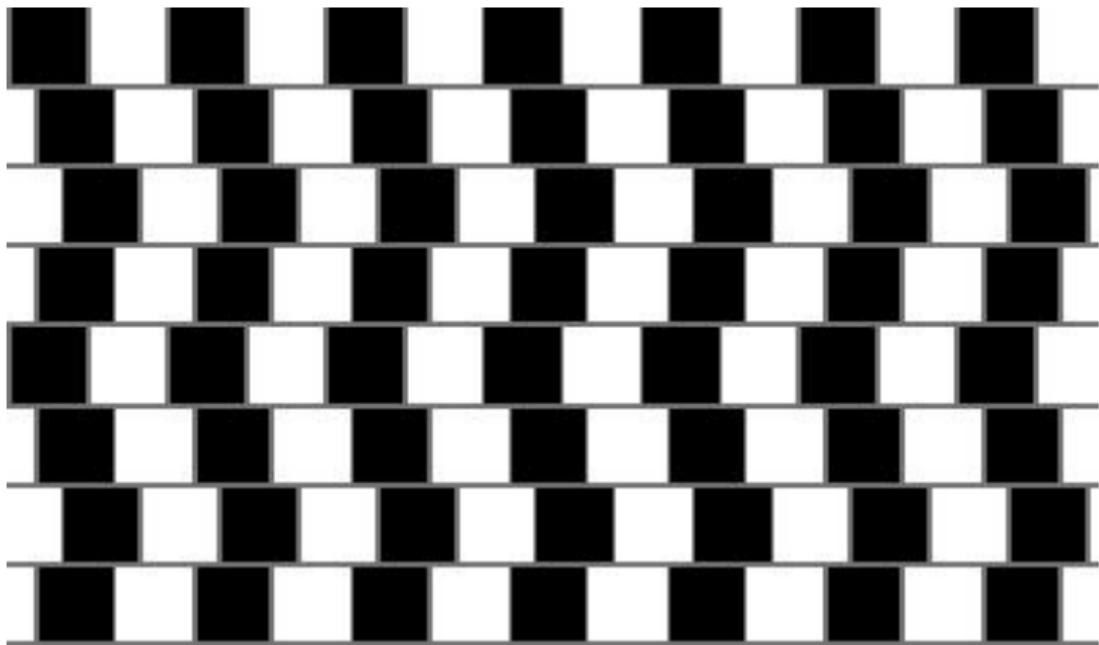
Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

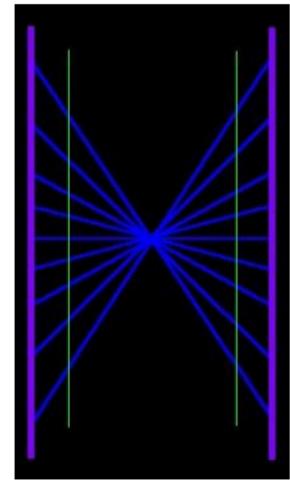
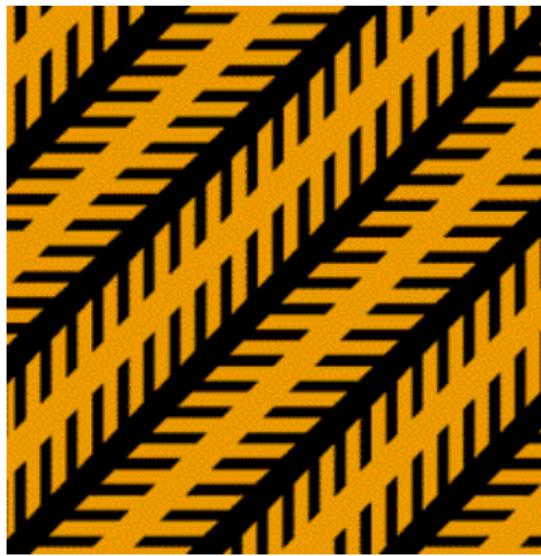
Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford



Pode-se enganar o cérebro?

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

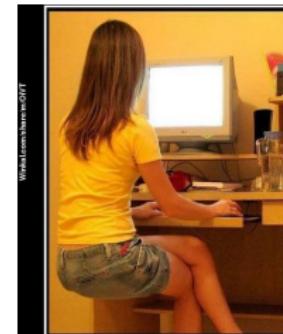
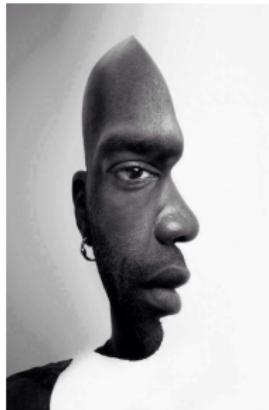
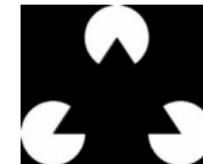
Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford



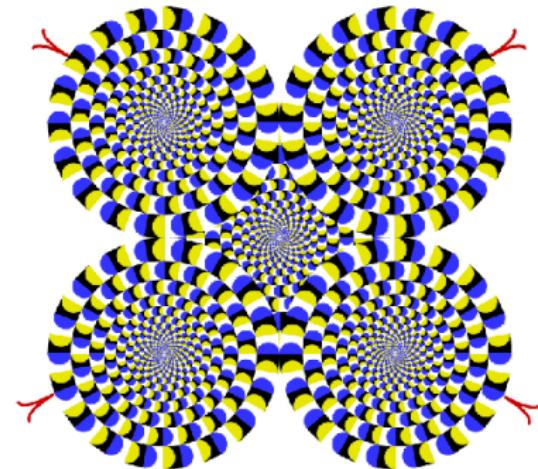
Pode-se enganar o cérebro?

O facto de a visão ser um processo essencialmente aprendido faz com que seja possível enganar o cérebro!!!

ilusões ópticas



ilusões visuais

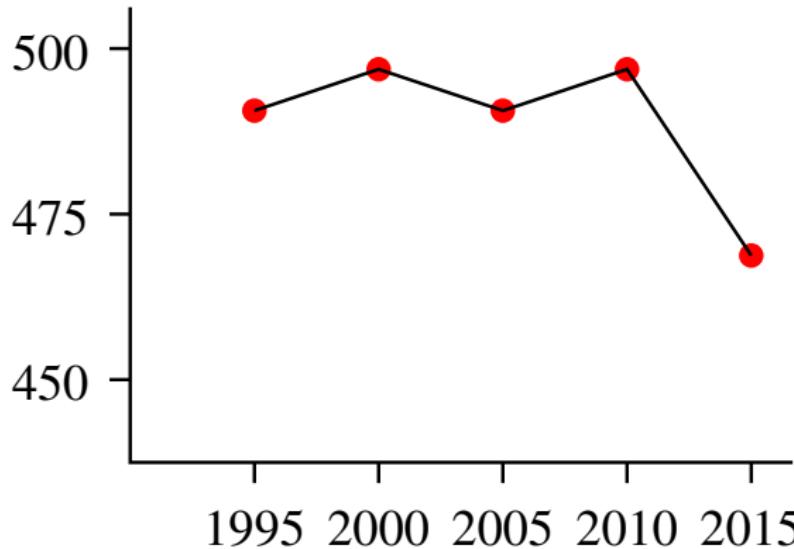


Copyright A.Kitaoaka 2003 (September 2, 2003)

Pode-se enganar o cérebro?

Dia a dia

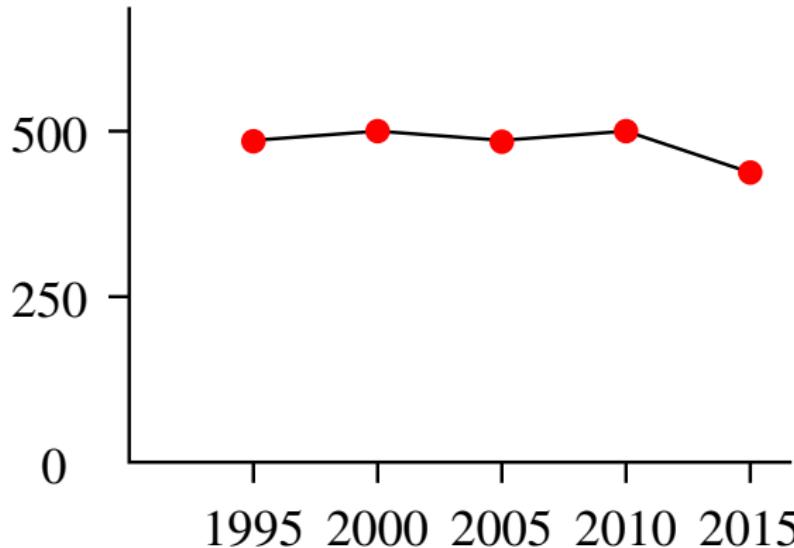
Queda do mercado?



Pode-se enganar o cérebro?

Dia a dia

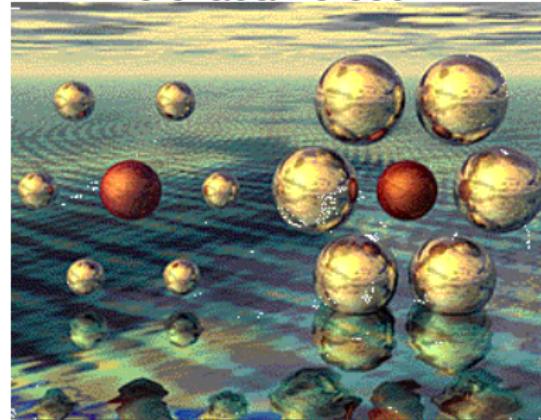
Escala completa:



Pode-se enganar o cérebro?

Dia a dia

Qual a razão pela qual a Lua parece maior quando se encontra próxima do horizonte que quando se encontra elevada no céu?



Percepção visual I e II

O sistema visual extrai informação do ambiente que nos rodeia, transformando-a em código neuronal que resulta numa percepção desse ambiente.

Objectivos Percepção visual I e II:

- vamos estudar as relações entre o estímulo físico (a radiação visível) e a percepção visual final do indivíduo que observa;
- não vamos entrar em detalhes sobre as vias neurofisiológicas que os impulsos visuais seguem desde a retina até às ultimas etapas de codificação e recolha de informação no cérebro;
- vamos portanto, dar um salto na rota visual desde a imagem óptica sobre a retina até à sensação visual final.

Com este fim, vamos começar por estudar algumas características da **retina** que se tornarão úteis ao longo da exposição.

Outline

Percep. Vis. I

Programa

Bibliografia

Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?

Cérebro enganado

A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adapt. ao escuro

Adapt. à luz

Resolução espacial

Resolução temporal

Stiles-Crawford

1 Funcionamento da disciplina

Programa

Bibliografia

Avaliação

2 Introdução

Nascemos a ver ou aprendemos a ver?

Pode-se enganar o cérebro?

3 A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores

Fotopigmentos

Adaptação ao escuro

Adaptação à luz

Resolução espacial e somação espacial

Resolução temporal e somação temporal

Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau

Fotoreceptores 1

Cones e bastonetes

O sistema visual humano é capaz de funcionar num intervalo considerável de níveis de iluminação:

- desde detectar uma estrela numa noite sem lua;
- até detectar um avião no céu em plena luz do dia.



este facto é devido à presença de dois tipos de células fotosensoras:
os **cones**
e os **bastonetes**.

Fotoreceptores 2

Visão fotópica e escotópica

Visão escotópica:

- ocorre em baixas condições de iluminação (noite);
- associada a baixa AV;
- deficiente capacidade de discriminação das cores;
- é dominada pelos bastonetes.

“À noite todos os gatos são pardos!”

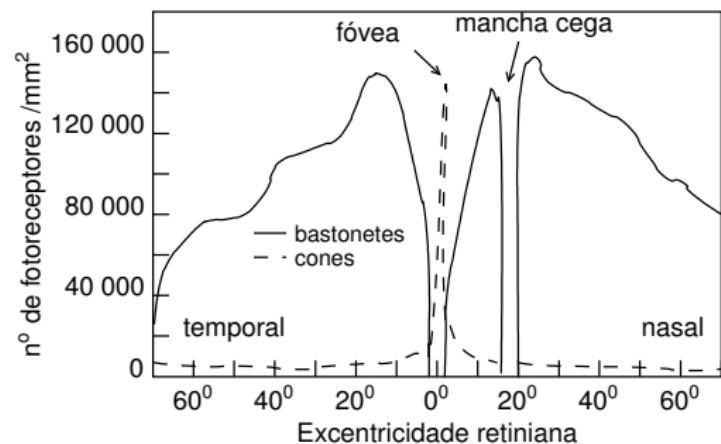
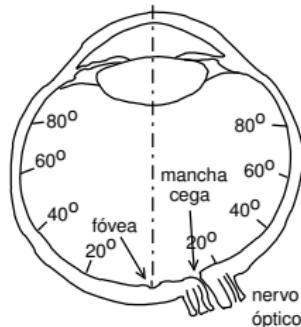
Visão fotópica:

- ocorre em condições de boa iluminação (dia);
- boa AV;
- boa discriminação das cores;
- é dominada pelos cones.

Em condições de iluminação média — visão mesópica — quer os cones, quer os bastonetes contribuem para a visão

A retina humana contém:

≈ 6 milhões de cones
≈ 120 milhões de bastonetes



Fotoreceptores 4

A distribuição de fotoreceptores na retina explica porque é que, se queremos observar uma estrela, não devemos olha-la directamente mas sim dirigir o nosso olhar para um ponto ligeiramente ao lado dessa estrela.



Fotopigmentos

Rodopsina 1

Rodopsina → fotopigmento existente nos bastonetes e muito sensível à luz.

- absorve luz da zona central do espectro visível (azul-verde);
- máximo de absorção em **507 nm**;
- relativamente insensível à luz vermelha.

Cada molécula de rodopsina é capaz de absorver 1 fotão de luz

Cada bastonete tem 10 000 000 destas moléculas e cada olho tem \approx 120 milhões de bastonetes



É isso que nos permite ver em condições nocturnas

Fotopigmentos

Rodopsina 2

A rodopsina torna-se “transparente” quando lhe incide luz
i.e., qd é excitada por um fotão de luz



em condições diurnas, é como se não existisse

(a molécula de rodopsina decompõe-se qd lhe incidem fotões)

- Depois de excitada, são necessários ~5 min para que 50% das moléculas de rodopsina recuperem o seu estado;
- depois de 15-20 min toda a rodopsina terá recuperado o seu estado.



- é por isso que temos de esperar alguns minutos até conseguirmos ver qd entrarmos numa sala escura ou para ver estrelas;
- é tb por causa do espectro de absorção da rodopsina que devemos cobrir a lanterna com um filtro vermelho (λ que menos excita a rodopsina) quando vamos observar as estrelas.

Rodopsina 3

Ambiente típico de uma sessão de observação de astronomia.



<http://aia2009.wordpress.com/2009/01/28/lanterna-vermelha-com-exposicao/>

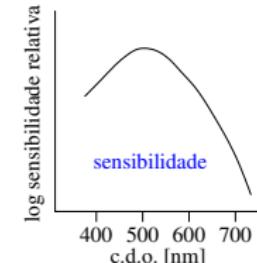
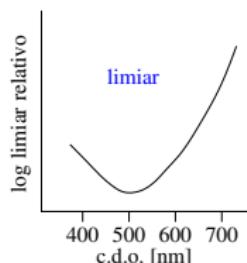
Foto com elevado tempo de exposição, mostra o arco descrito pelas estrelas em torno do eixo que aponta para Norte (para a estrela Polar) e a acumulação de luz vermelha em redor dos observadores (proveniente de lanternas e computadores).

Fotopigmentos

Sensibilidade espectral escotópica

A capacidade para detectar estímulos em visão escotópica é determinada pela curva de absorção da rodopsina.

- O **limiar de detecção** pode ser encontrado adaptando um indivíduo ao escuro durante 45 min e depois determinando a mínima quantidade de energia necessária para que ele detecte o estímulo em vários c.d.o. **limiar $\times \lambda$**
- A **curva de sensibilidade espectral** é o inverso da função de limiar: um baixo limiar indica alta sensibilidade. **sensibilidade $\times \lambda$**



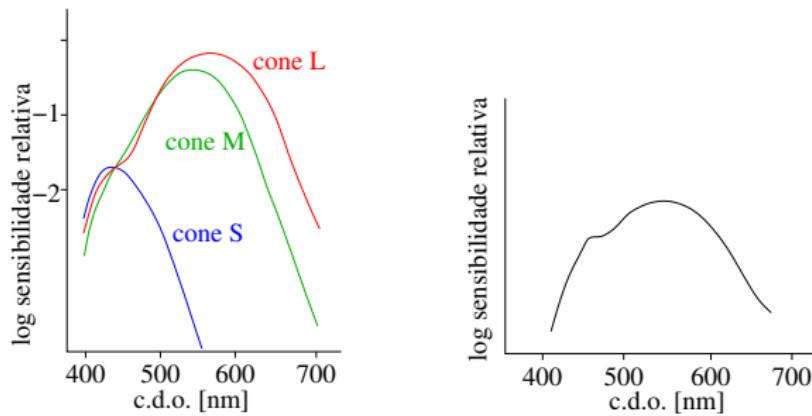
Fotopigmentos

Fotopigmentos dos cones

Os cones possuem 3 fotopigmentos fundamentais:

- cianopigmento - cones S - (*short λ*) - **426 nm**
- cloropigmento - cones M - (*middle λ*) - **530 nm**
- eritopigmento - cones L - (*large λ*) - **557 nm**

Cada cone contém apenas 1 fotopigmento.



Fotopigmentos

Sensibilidade espectral fotópica

A curva de sensibilidade espectral fotópica é determinada da mesma forma que a escotópica mas é obtida em condições de iluminação.

- Apesar de existirem 3 fotopigmentos possíveis nos cones, há apenas 1 pico na curva de sensibilidade espectral fotópica: **555 nm**.

Fotopigmentos

Intervalo fotocromático

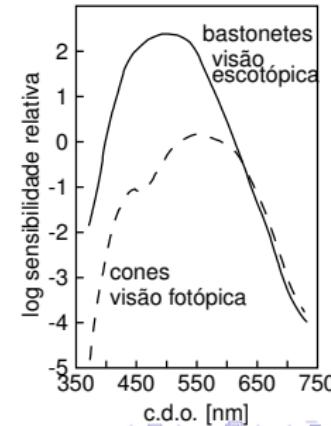
À medida que a intensidade de um estímulo é aumentada, este é percebido 1º pelo sistema escotópico e depois pelo fotópico



a diferença em termos de sensibilidade entre os sistemas fotópico e escotópico denomina-se **intervalo fotocromático**.

Atenção:

o sistema escotópico é + sensível que o fotópico em todos os c.d.o. excepto na região vermelha do espectro.



Fotopigmentos

Efeito de Purkinje

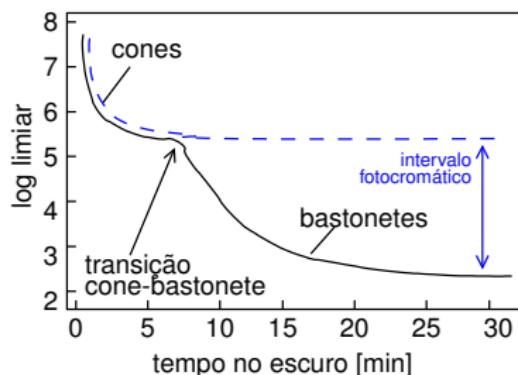
O **efeito de Purkinje** deve-se ao deslocamento do pico de sensibilidade de 555 nm para 507 nm à medida que passamos de condições fotópicas para condições escotópicas.

Johannes von Purkinje
(fisiologista checo)
flores vermelhas - dia
flores azuis - noite

Adaptação ao escuro 1

Curva de adaptação ao escuro

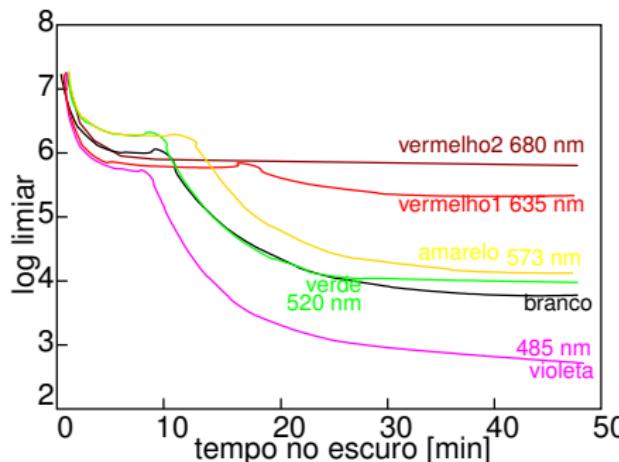
- Qd. entramos numa sala escura vindos de um exterior muito iluminado.



Data from From Pirenne M. H., Dark Adaptation and Night Vision. Chapter 5. In: Davson, H. (ed), The Eye, vol 2. London, Academic Press, 1962.

- indiv. exposto a luz mt. intensa;
- dp. apaga-se a luz;
- determina-se o seu limiar de detecção ao longo do tempo.

http://webvision.med.utah.edu/light_dark.html



Data from Bartlett N. R., Dark and Light Adaptation. (Chapter 8. In: Graham, C. H. (ed), Vision and Visual Perception. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1965).

http://webvision.med.utah.edu/light_dark.html

Adaptação ao escuro 2

Efeito do c.d.o. de estímulo

Atenção:

- para $\lambda = 680$ nm
deixa de haver
transição
cone-bastonete

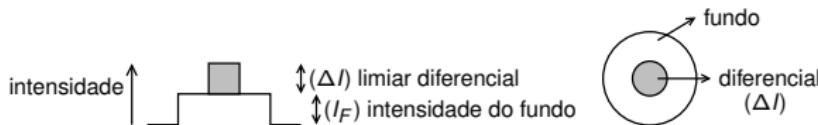


cones e bastonetes
apresentam a mesma
sensibilidade a este
c.d.o.

Adaptação à claridade

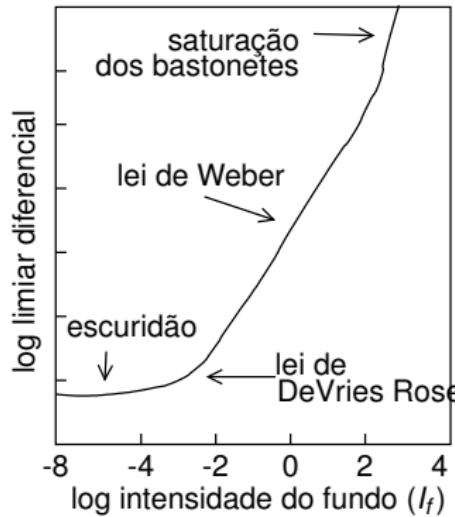
Limiar de diferencial

- Qd. saímos à rua num dia de sol.



A adaptação à claridade é estudada com um procedimento de **limiar diferencial**:

- 1 o limiar é determinado com um *flash* de luz (diferencial) que é apresentado sobre um fundo de intensidade uniforme;
- 2 a intensidade do fundo é aumentada e repete-se a medida do limiar.



Adaptação à claridade

Curva de adaptação à claridade

A curva pode ser dividida em 4 secções:

- escuridão ($m = 0$) detecção limitada pelo ruído neuronal (corrente escura);
- lei de DeVries Rose ($m = 1/2$) o estímulo começa a ser suf. para se sobrepor ao ruído; (mas o fundo é tão ténue que as flutuações da fonte têm papel predominante na determinação do limiar)
- lei de Weber ($m = 1$)
 $\Delta I / I = k^{te} \Rightarrow$ constância do contraste \Rightarrow limiar de contraste permanece constante independentemente da luminância ambiente;
- saturação ($m = \infty$) para alta luminância do fundo os bastonetes saturam-se e já não detectam o estímulo.

Resolução e somação espacial

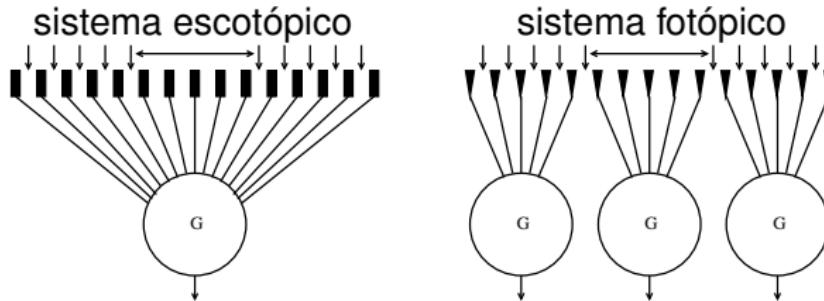
Vemos melhor em condições fotópicas ou em condições escotópicas?

- a resposta não é fácil;
- condições fotópicas: melhor AV, melhor sensibilidade ao contraste;
- condições escotópicas: mais sensibilidade.



ligação de cones e bastonetes aos elementos posteriores
da retina

Resolução e somação espacial



Os bastonetes:

- comunicam com as células ganglionares de maneira que **somam** a informação espacial;
- isto produz grande sensibilidade mas pobre resolução.

Os cones:

- estabelecem comunicação de maneira a maximizar a resolução visual, sacrificando a sensibilidade.

Resolução e somação espacial

↓
a diferença fundamental entre os sistemas escotópico e fotópico encontra-se na forma como comunicam com as células ganglionares:

↓
muitos + bastonetes comunicam com a mesma célula ganglionar

↓
o sistema escotópico soma a informação espacial:
somação espacial

Resolução e somação espacial

A somação espacial descreve a capacidade do sistema visual para somar quanta dentro de uma certa área:

~~ esta área (sobre a qual funciona a somação) denomina-se “diâmetro crítico”.

A existência de somação espacial pode ser demonstrada com a seguinte experiência:

- um pequeno círculo luminoso é apresentado ao observador e determina-se o número limiar de quanta necessários para detectar a luz do círculo;
- a experiência é repetida utilizando círculos de diâmetro crescente.



Pode então ser traçada uma função que relaciona o *nº limiar de quanta* necessários para que haja detecção com o *diâmetro do círculo*.

Resolução e somação espacial

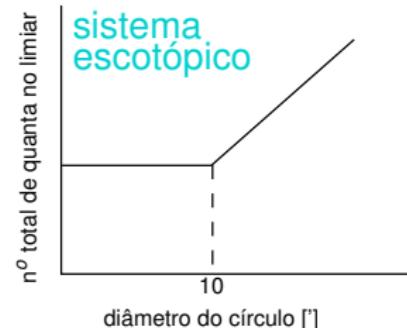
Lei de Ricco

Notar que: abaixo do 10' (sistema escotópico) o nº de quanta necessários para a detecção é constante \Rightarrow o mesmo nº de quanta pode estar distribuído por um círculo de 10' ou concentrado num círculo de 1'.

Lei de Ricco:
 $IA = K^{te}$

I — intensidade do estímulo (quanta/área);

A — área do estímulo;



A diferença em termos de somação espacial entre os sistemas fotópico e escotópico, é obtida repetindo esta experiência em condições fotópicas e escotópicas e determinando a diferença entre os dois diâmetros críticos.

Obviamente, o diâmetro crítico do sistema fotópico é menor que aquele do sistema escotópico \rightsquigarrow reduzida capacidade de somação espacial do sistema fotópico.

Resolução e somação temporal

Percep. Vis. I

Programa
Bibliografia
Avaliação

Introdução

Aprendemos a ver?
Cérebro enganado

A natureza
dúplice da
retina

Fotoreceptores
Fotopigmentos
Adapt. ao escuro
Adapt. à luz
Resolução espacial
Resolução temporal
Stiles-Crawford

O sistema escotópico:

- soma a informação no tempo ⇒ maior **somação temporal**.

O sistema fotópico:

- é + hábil a distinguir entre 2 *flashes* de luz separados por 1 breve intervalo de tempo;
- menor somação temporal mas maior resolução temporal.

Resolução e somação temporal

Lei de Bloch

Introdução

Aprendemos a ver?
Cérebro enganado

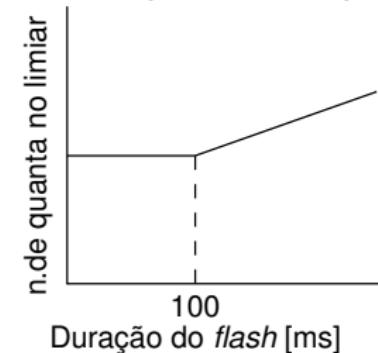
A natureza dúplice da retina

Fotoreceptores
Fotopigmentos
Adapt. ao escuro
Adapt. à luz
Resolução espacial
Resolução temporal
Stiles-Crawford

Em tudo análoga à lei de Ricco mas para o tempo.

Lei de Bloch:
 $It = K^{te}$

I — intensidade do estímulo
(quanta/tempo);
 t — duração do estímulo;



Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau

Para aproveitar a máxima eficiência dos fotopigmentos, os raios de luz devem incidir-lhes perpendicularmente.



os bastonetes são menos sensíveis à direcção de incidência dos raios

Em casos de pupila descentrada por alguma razão, os cones podem chegar a re-orientar-se para que os raios de luz lhes incidam de forma + eficiente.



este efeito é denominado **Efeito de Stiles-Crawford de primeiro grau**.