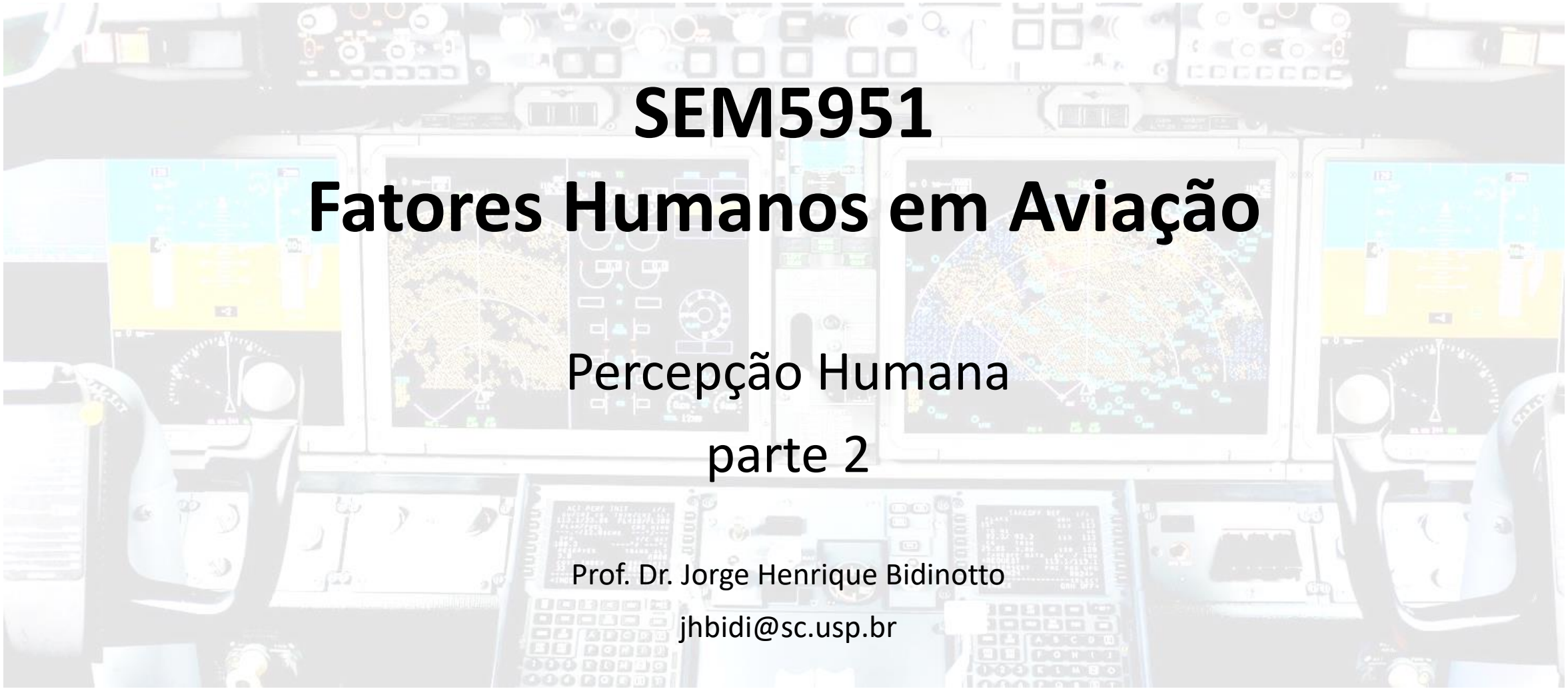


SEM5951
Fatores Humanos em Aviação

Percepção Humana
parte 2

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto
jhbidi@sc.usp.br

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Sumário

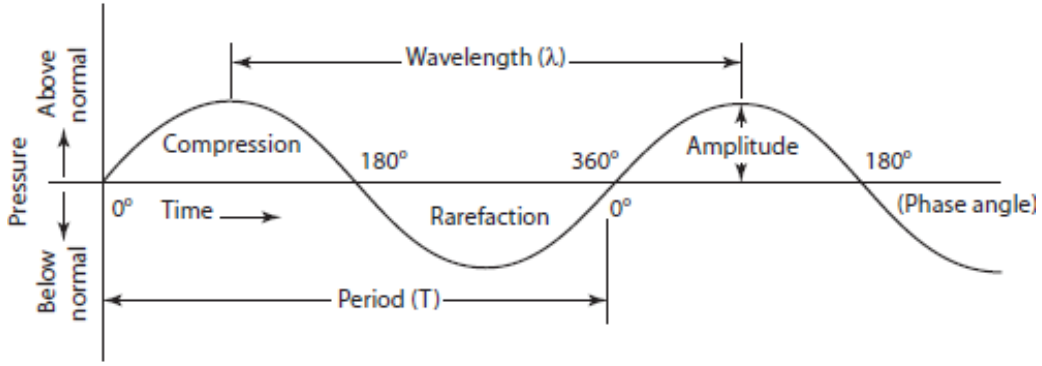
- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

A audição

- Consiste na detecção de ondas mecânicas, normalmente propagado pelo ar

- O ouvido humano normalmente detecta frequências sonoras entre 20 Hz e 20 kHz (o envelhecimento diminui a capacidade de detecção de certas frequências)

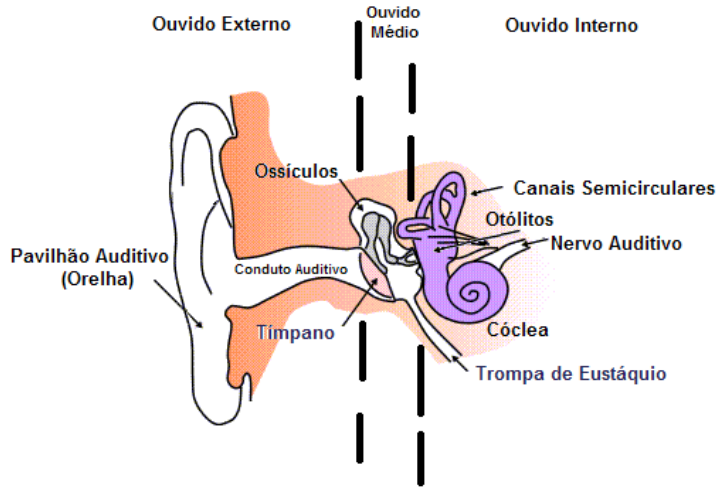
$$\lambda = \frac{c}{F}.$$



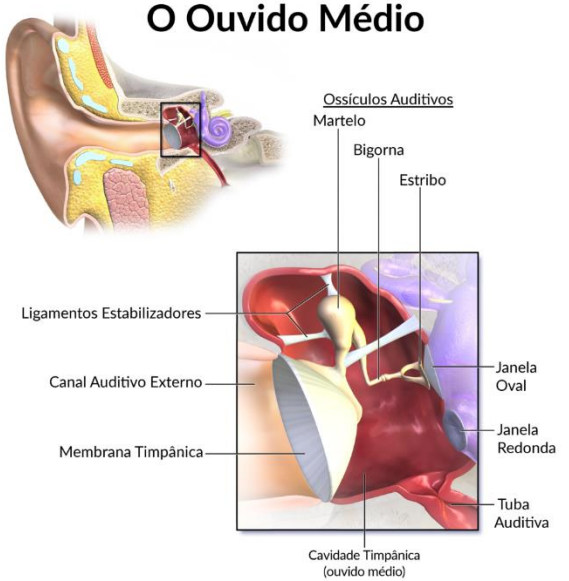
- Em aviação, o sentido da audição é importante para alertas

A audição

- **O ouvido humano**
- Se divide em ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno
- O ouvido interno possui também as funções do sistema vestibular (a ser tratada adiante nessa aula)
- O sistema auditivo tem a função de transformar estímulos mecânicos (ondas de pressão em diferentes frequências) em estímulos nervosos para o cérebro humano
- Vídeos que facilitam essa explicação:
- https://www.youtube.com/watch?v=dyenMluFaUw
- https://www.youtube.com/watch?v=xMUl5CCoW6Y
- https://www.youtube.com/watch?v=eQEaiZ2j9oc



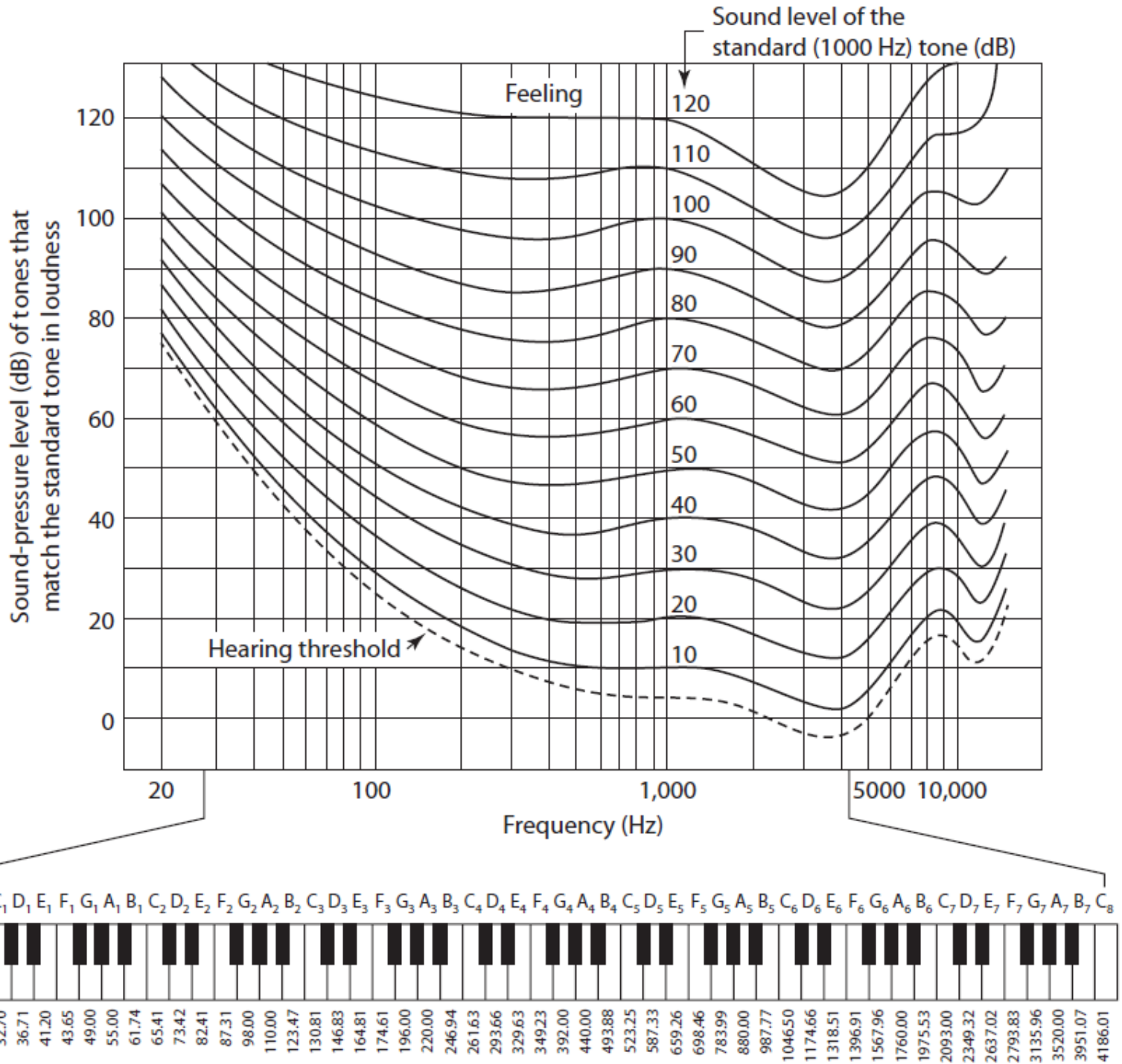
O Ouvido Médio



A audição

- **Informações extraídas pela audição**
- Tipo de som
- Diferença entre intensidade (alto/baixo) e tonalidade (agudo/grave)
- O reconhecimento do som se baseia na memória auditiva, comparando o sinal com um padrão conhecido
- Alguns padrões são:
  - Harmônicos (músicas ou instrumentos musicais)
  - Verbais (reconhecimento de fala, mesmo que seja em um idioma desconhecido)
  - Não-verbais (click, buzina, canto de pássaro, etc.)

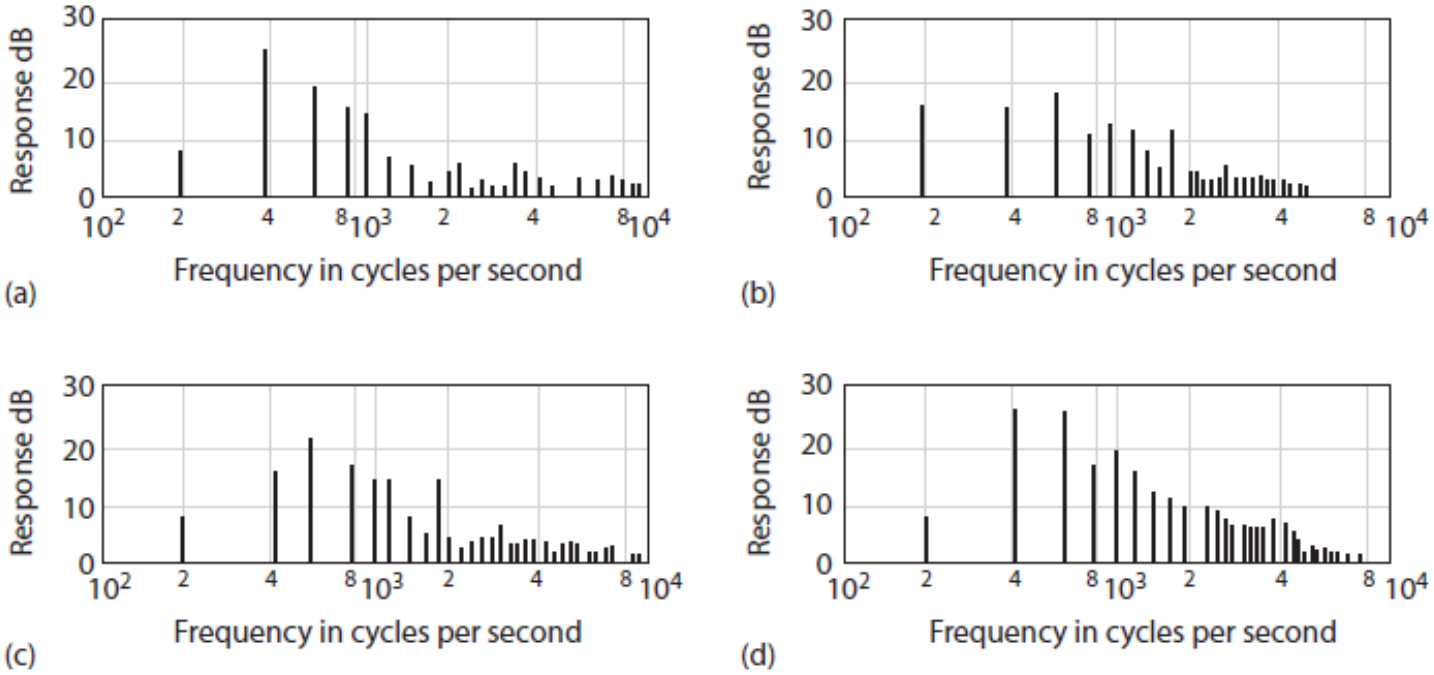
- **Informações extraídas pela audição**
- <u>Tipo de som</u>
- As notas musicais e suas frequências



A audição

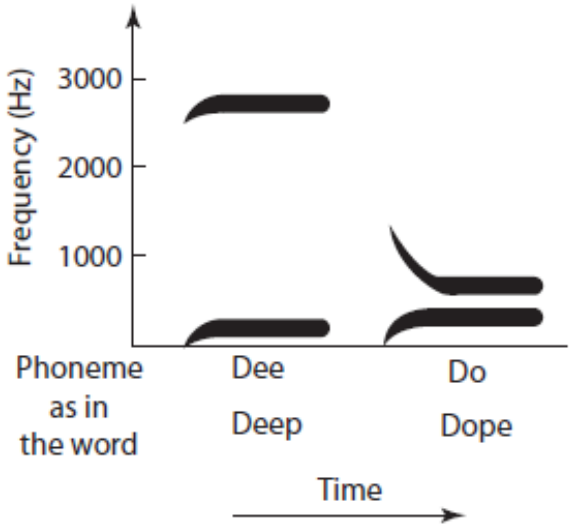
- **Informações extraídas pela audição**
- <u>Tipo de som</u>
- Mesma nota musical vindo de diferentes instrumentos

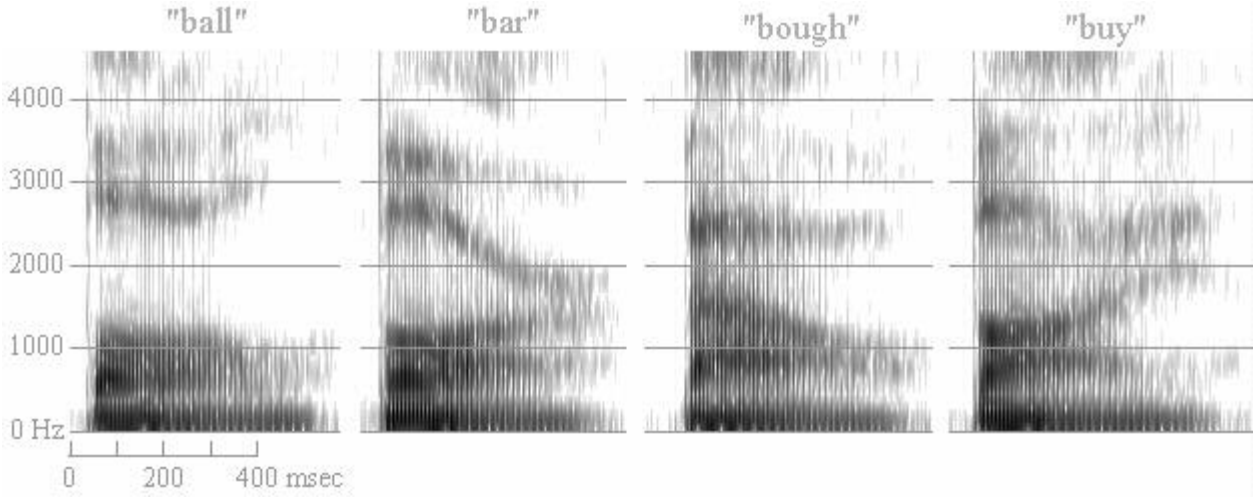
Som com frequência fundamental de 196 Hz, vindo de diferentes instrumentos:
(a) Fagote
(b) Violão
(c) Saxofone
(d) Violino



A audição

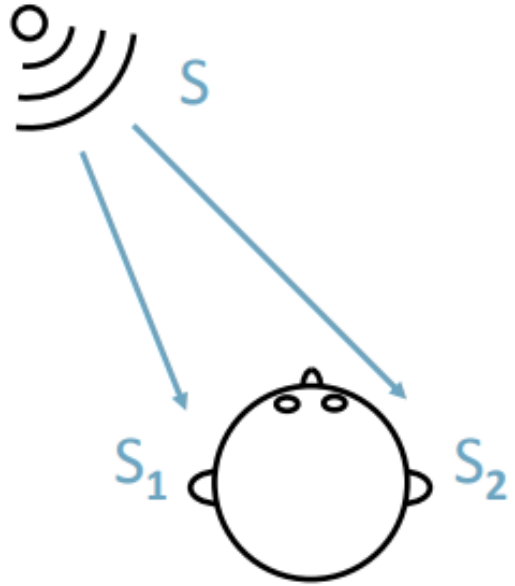
- **Informações extraídas pela audição**
- <u>Tipo de som</u>
- Reconhecimento de padrões de fala





A audição

- **Informações extraídas pela audição**
- Posição da fonte sonora
- Nosso cérebro consegue captar diferenças de intensidade sonora entre os dois ouvidos, e dessa forma localizar a fonte de ruído
- Simulação de localização de fonte de ruído
- https://www.youtube.com/watch?v=IUDTlvagjJA



A audição

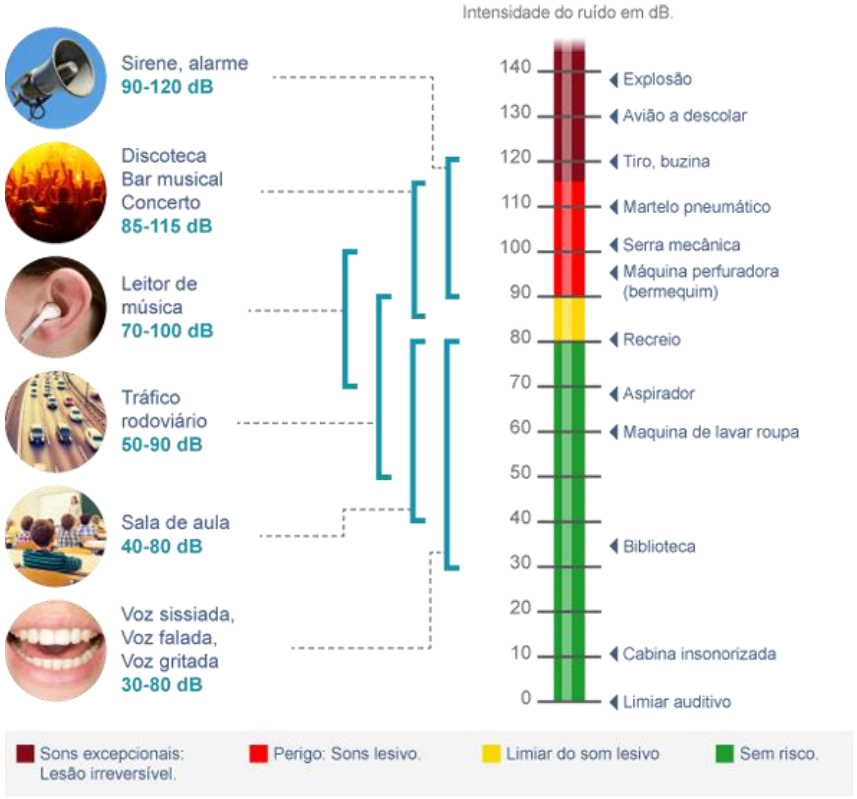
- **Informações extraídas pela audição**
- Distinção de informações
- O sistema auditivo ignora ruídos de fundo e constantes. Por esse motivo, qualquer informação passada pela audição deve ser capaz de se destacar sobre esse ruído de fundo
- Da mesma forma que a visão, o sinal auditivo deve ter uma duração mínima para ser notado, e o aumento de sua duração torna-o mais perceptível ao sistema auditivo

A audição

- **Características importantes do sistema auditivo**
- O sistema auditivo é capaz de “filtrar” ruídos vindo de nosso próprio organismo (mastigação, batimentos cardíacos, etc.)
- Nosso cérebro é capaz de se adaptar a ruídos externos, passando a ignorá-los, mas isso não evita que nosso sistema auditivo seja prejudicado com ruídos muito altos ou com duração muito longa
- A norma NR-15 fornece o tempo máximo de exposição diário a diferentes níveis de ruído, sem que haja dano ao sistema

A audição

- **Características importantes do sistema auditivo**
- A norma NR-15 fornece o tempo máximo de exposição diário a diferentes níveis de ruído, sem que haja dano ao sistema



NIVEL DE RUÍDO DB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

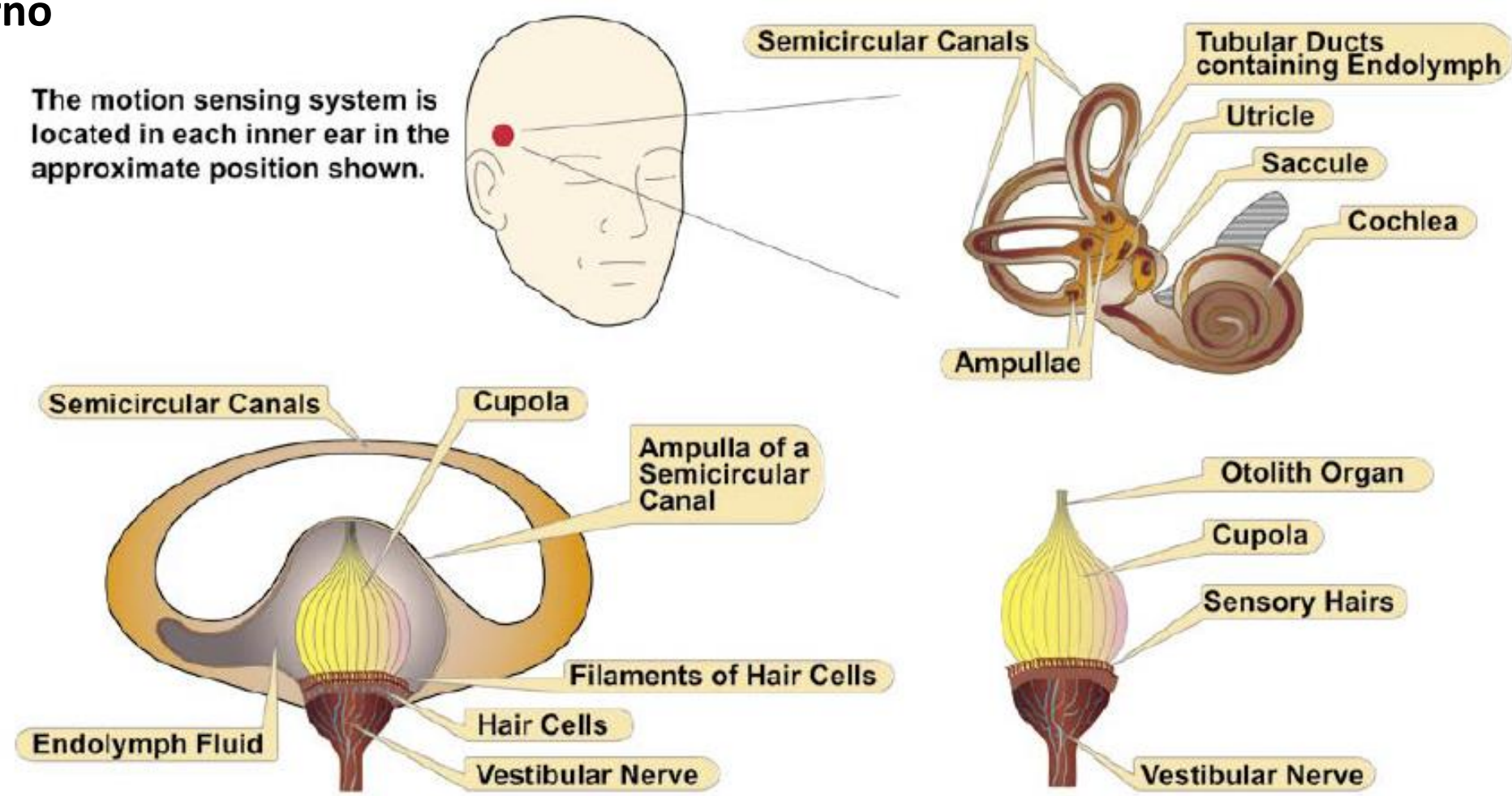
O sistema vestibular

- Responsável pela noção de espaço e equilíbrio do corpo humano

- Também chamado de propriocepção ou de cinetesia

O sistema vestibular

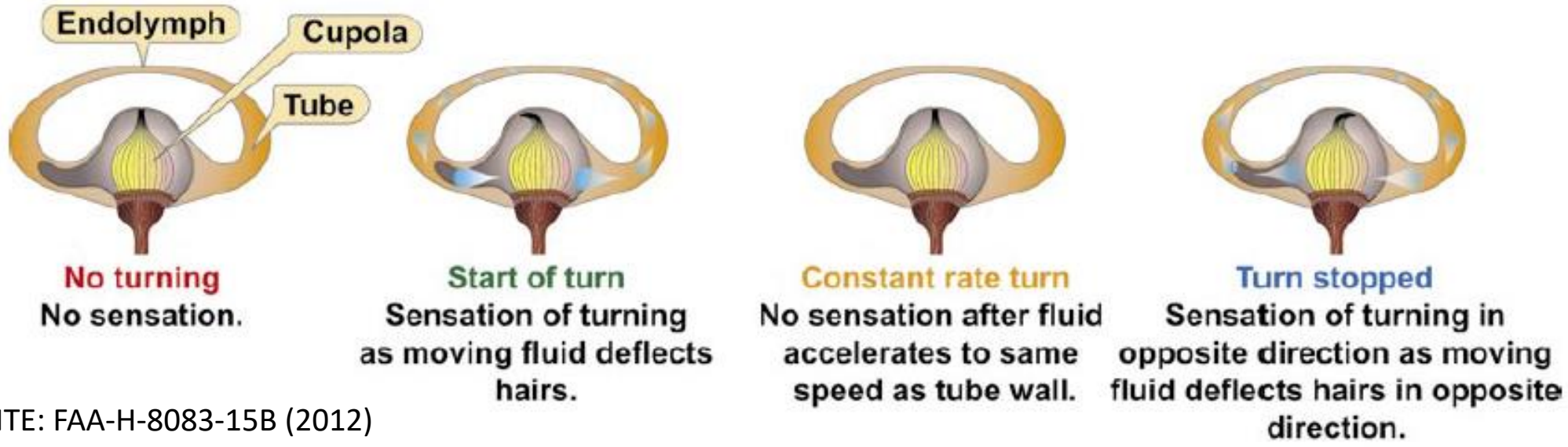
- **Ouvido interno**



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

O sistema vestibular

- **Ouvido interno**
- Acelerações angulares



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

O sistema vestibular

- **Ouvido interno**
- Os canais semicirculares podem ser modelados pela FT de 4.a ordem:

Deslocamento percebido

Deslocamento angular

$$\frac{y(s)}{\phi(s)} = \frac{0.07s^3(s+50)}{(s+0.05)(s+0.03)}$$

- Que pode ser aproximado pela função de 2.a ordem

$$\ddot{\theta} + 2\zeta\omega_n\dot{\theta} + \omega_n\theta = u(t)$$

Aceleração realizada

Ângulo da cupula

$$3{,}6 \leq \zeta \leq 6{,}7$$
$$0{,}75 \leq \omega_n \leq 1{,}9$$

- Isso gera uma função onde a primeira constante de tempo é 0,1 s, e a segunda varia conforme o eixo aplicado:
  - Yaw: 10 a 11,8 s
  - Roll: 6,1 a 6,8 s
  - Pitch: 5,3 s

O sistema vestibular

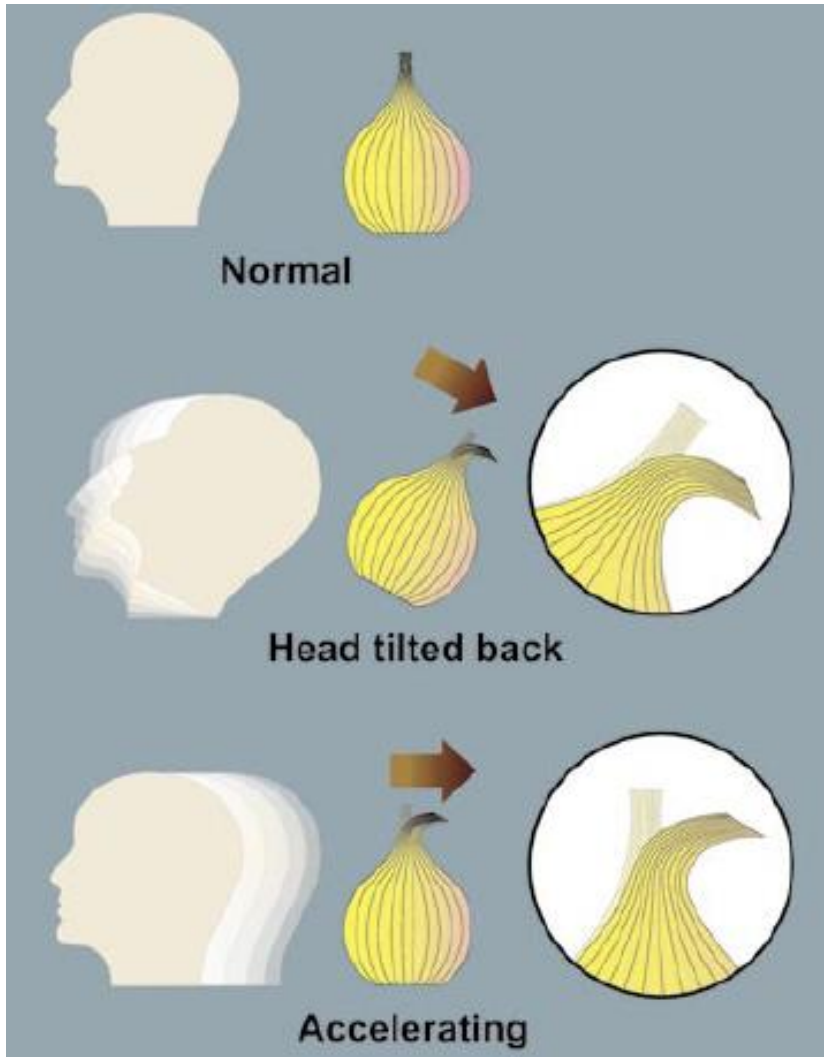
- **Ouvido interno**
- Dessa forma, foi medido em laboratório que acelerações não são detectadas pelo ouvido interno quando são menores que $0{,}12°/s^2$ a $4{,}0°/s^2$ (dependendo do eixo)

- Assim utilizou-se um limite de $0{,}5°/s^2$ para percepção humana

- Outro limite utilizado é de $0{,}5t/s$ em velocidade
  Onde t é o tempo em que se aplica aceleração no movimento

O sistema vestibular

- **Ouvido interno**
- Acelerações lineares



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

O sistema vestibular

- **Ouvido interno**
- Os otólitos podem ser modelados pela seguinte FT:

força percebida ←
Força aplicada ←

$$\frac{y(s)}{f(s)} = \frac{2.02(s+0.1)}{s+0.2}$$

- Na prática, é utilizada uma função de 2.a ordem com as constants de tempo de 0,66 s e 10 s

- Valores limite de $0{,}0011 ft/s^2$ foram encontrados em laboratórios, apesar de alguns estudos apontarem valores de $0{,}1 - 0{,}4 ft/s^2$

O sistema vestibular

- **Ilusões Vestibulares em aviação**

- Inclinação – aeronave inicia rolamento lentamente e depois nivela de forma abrupta
  Tem-se a impressão de estar rolando para o lado contrário

- Ilusão de Coriolis – aeronave em uma longa e lenta curva, e o piloto movimenta a cabeça para um ponto dentro da aeronave
  Tem-se a impressão de que a aeronave está girando em um eixo totalmente diferente, levando o piloto a fazer correção errada na atitude

- Espiral Cemitério – Inclinação combinada com perda de altitude, tendência natural em curvas

O sistema vestibular

- **Ilusões Vestibulares em aviação**

- Ilusão Somatográfica – Uma rápida aceleração pode estimular seu ouvido interno a ter a sensação de que a aeronave está aumentando o ângulo de ataque
  O piloto tem a tendência de corrigir a atitude, comandando aeronave a picar

- Ilusão de Inversão – Correção brusca de subida para voo nivelado pode dar a impressão de a aeronave estar aumentando o ângulo de ataque
  O piloto tem a tendência de corrigir a atitude, comandando a aeronave a picar

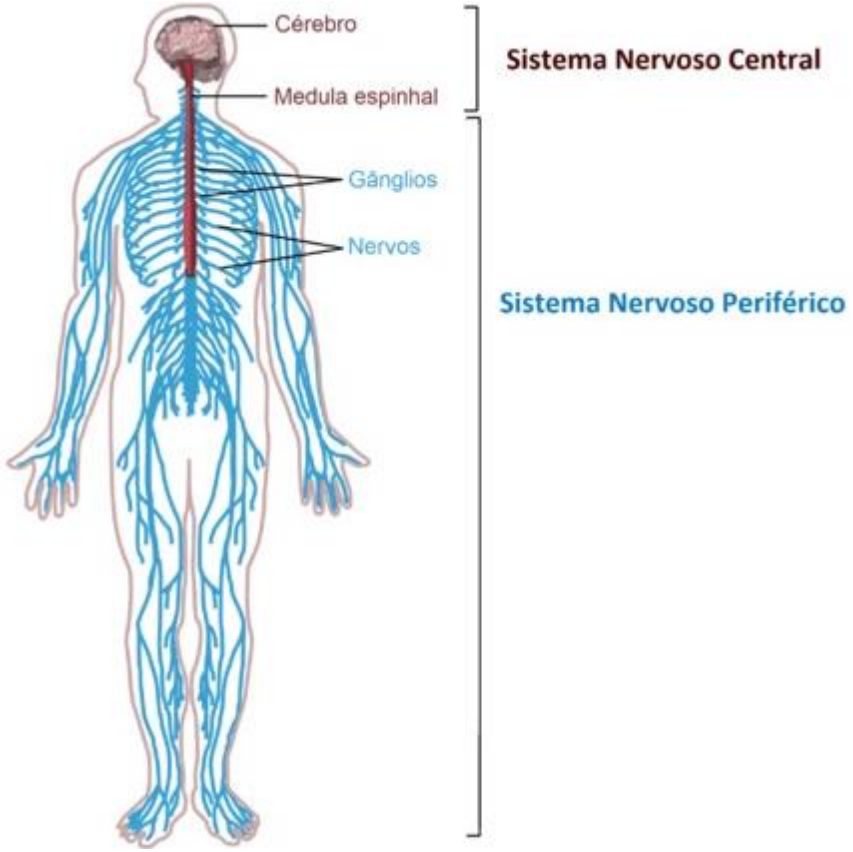
- Ilusão de Profundor – Uma rajada brusca que modifique o ângulo de ataque pode dar a impressão de a aeronave esteja subindo ou descendo, levando o piloto a fazer uma correção errada na trajetória

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

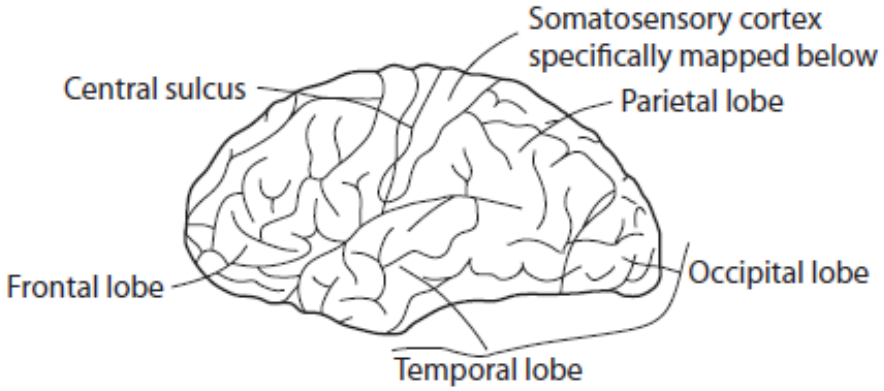
O sistema sensorial

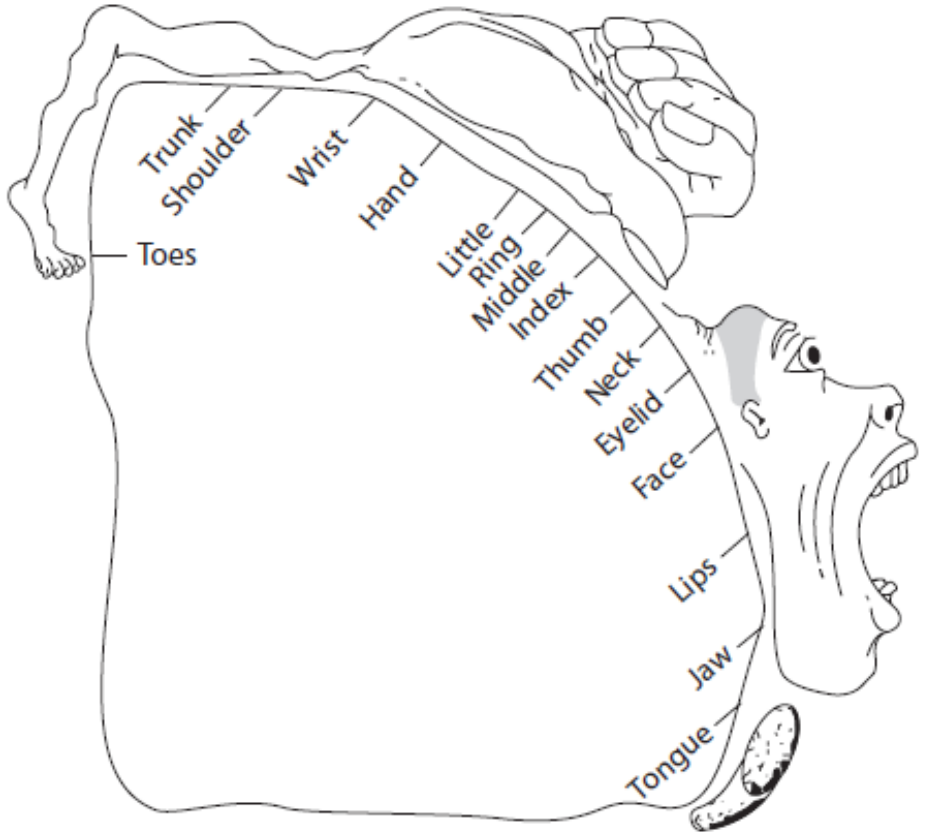
- Responsável pela sensação física ao toque, dor, etc.
- Também chamado de sistema somestésico
- Os nervos (sistema nervoso periférico) sentem o estímulo do toque e transmitem ao sistema nervoso central, que leva até o córtex somatossensorial do cérebro



O sistema sensorial

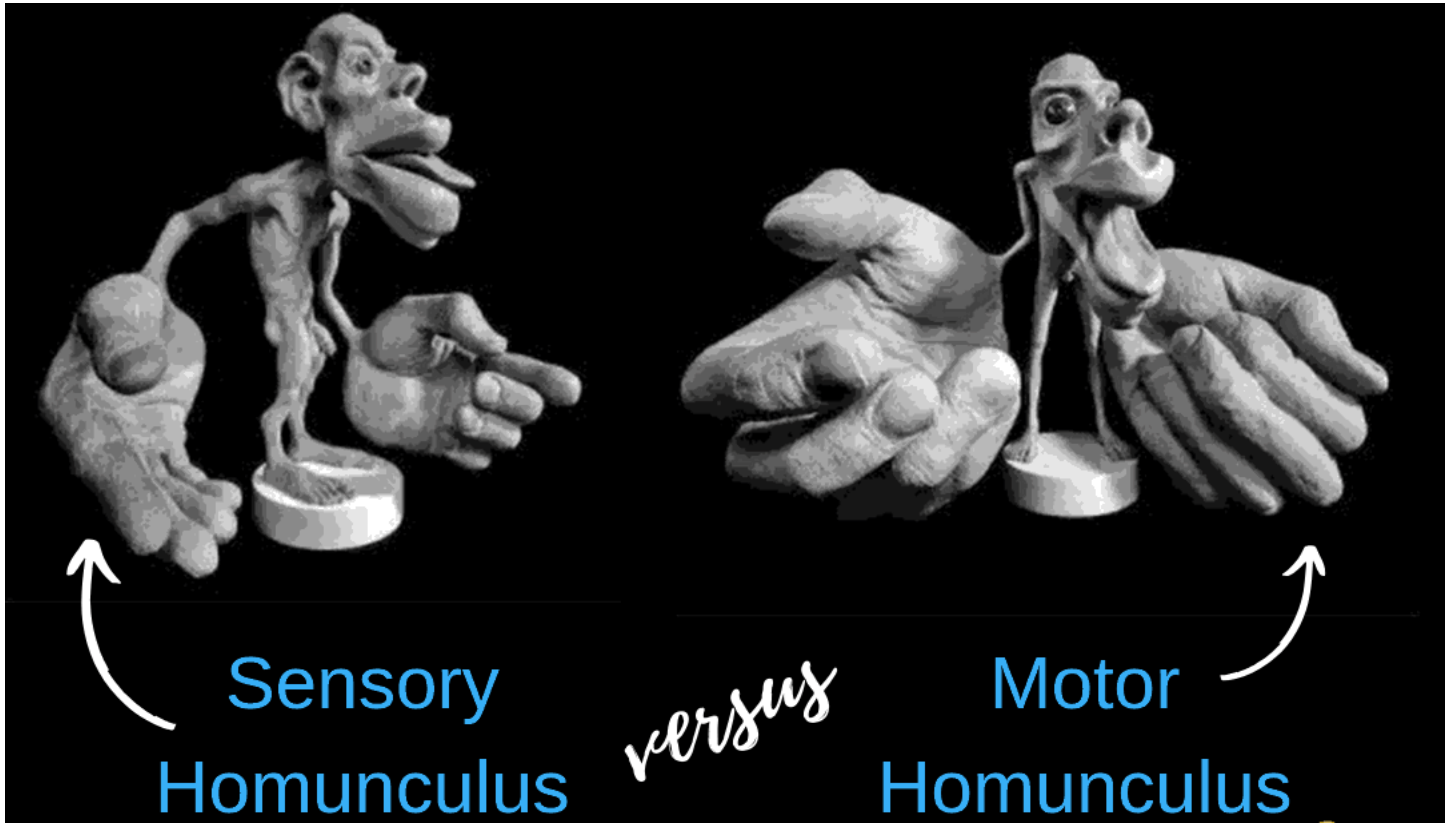
- O córtex somatossensorial é quem processa a informação vinda dos nervos, e diferentes partes do corpo possuem diferentes sensibilidades





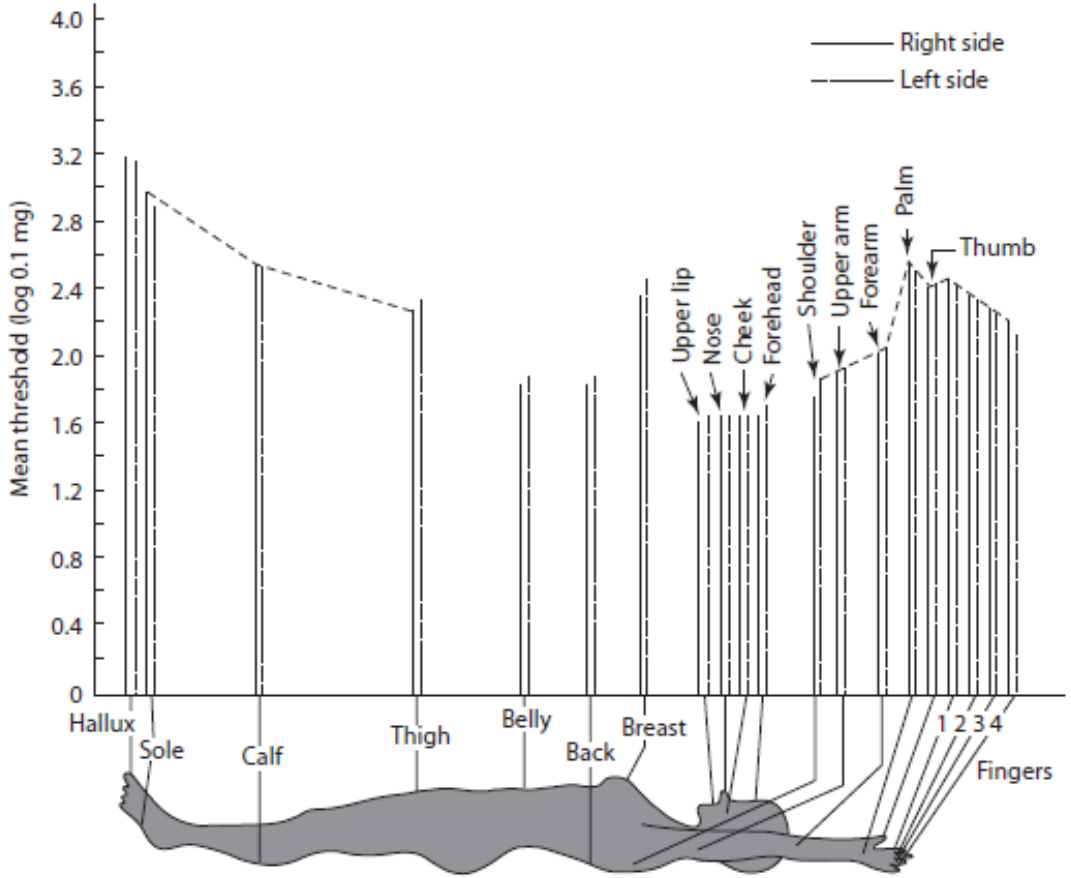
O sistema sensorial

- O homúnculo de Peinfield



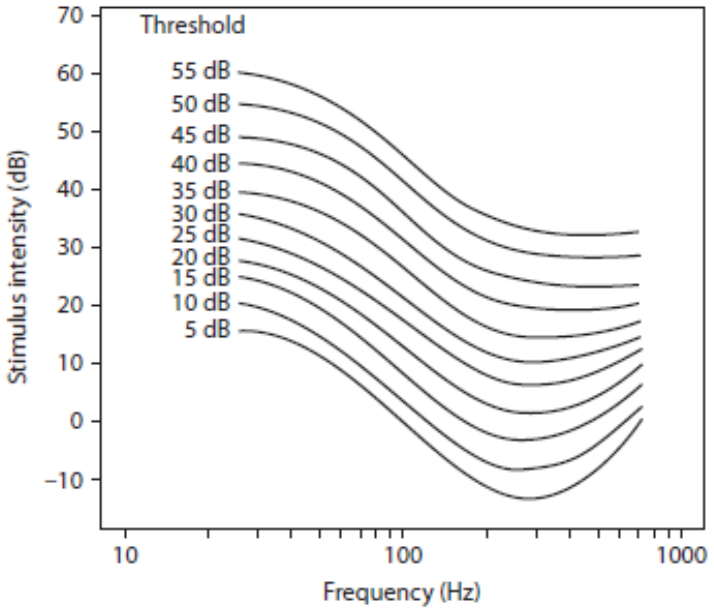
O sistema sensorial

- Percepção ao toque



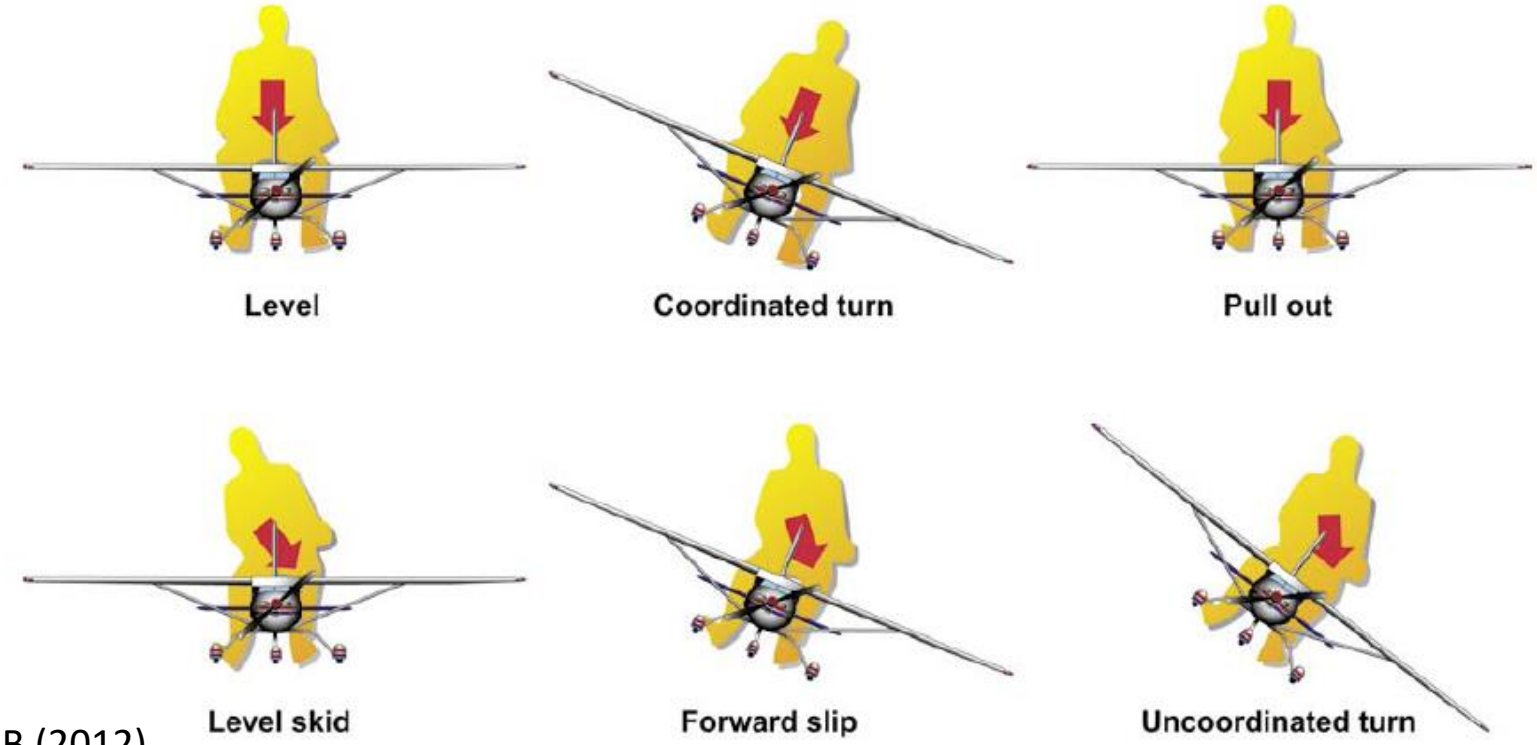
O sistema sensorial

- Estímulos vibratórios podem mudar a percepção com base em diferentes frequências



O sistema sensorial

- **Ilusões posturais**
- O sistema postural, em conjunto com a aceleração gravitacional, pode levar a ilusões espaciais devido a acelerações a que seu corpo está exposto



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

O sistema sensorial

- **Ilusões posturais**

FONTE: pilotcarrernews.com

FONTE: tecmundo.com.br

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Sensações químicas

- O olfato e a gustação são sentidos onde os respectivos órgãos (nariz e língua) possuem sensores químicos, que sentem a presença dos componentes e enviam a mensagem ao cérebro

- São sentidos indispensáveis para a vida humana, já que cheiro e sabor podem indicar ambientes ou alimentos inadequados

- A gustação não possui grande importância na aviação. O olfato tem função basicamente na detecção de problemas de funcionamento de algum componente (como cheiro de fumaça, óleo, etc.)

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Apresentação de informações

- As informações podem ser apresentadas de forma visual, auditiva ou tátil. Cada forma é recomendada para diferentes aplicações

- As duas formas principais são a visual e a auditiva, que têm aplicações bem específicas

- Os displays visuais se dividem em estáticos e dinâmicos

When to Use Auditory or Visual Displays

Use auditory presentation if:

1. The message is simple
2. The message is short
3. The message will not be referred to later
4. The message deals with events in time
5. The message calls for immediate action
6. The visual system of the person is overburdened.
7. The receiving location is too bright or dark-adaptation integrity is necessary
8. The person's job requires continual motion

Use visual presentation if:

1. The message is complex
2. The message is long
3. The message will be referred to later
4. The message deals with location in space
5. The message calls for immediate action
6. The auditory system of the person is overburdened
7. The receiving location is too noisy
8. The person's job allows remaining in one position

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Consistem em placas ou telas que não mudam a mensagem mostrada
- Para maior efetividade da mensagem, alguns princípios são utilizados
  - Conspicuidade: o sinal deve atrair a atenção e estar localizado onde as pessoas vão olhar. Três principais fatores determinam a atenção dispensada ao sinal: proeminência, inovação e relevância
  - Visibilidade: O sinal deve ser visível em todas as condições possíveis, seja noite, dia, luz do sol ou condições de tempo adversas
  - Legibilidade: pode ser otimizada aumentando o contraste dos caracteres sobre o fundo e escolhendo adequadamente as fontes a serem lidas

Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
  - Inteligibilidade: Deixar claro o que pode acontecer se o sinal for ignorado. Usar o mínimo possível de palavras, evitando abreviações
  - Ênfase: as palavras mais importantes devem ser enfatizadas. Por exemplo numa placa, a palavra PERIGO deve ter letras maiores e com bordas
  - Padronização: Usar palavras ou símbolos quando eles existirem. Apesar de não-oficiais, vários símbolos são bem estabelecidos para algumas aplicações. Levar em consideração diferenças no público-alvo do seu sinal
  - Manutenibilidade: Os materiais usados devem resistir a sol, chuva ou outras condições onde o sinal for disponibilizado

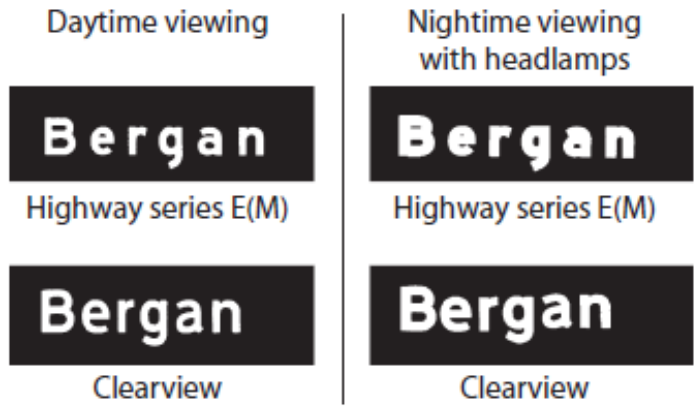
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Exemplos

Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- <u>Sinais alfanuméricos</u>
- Usar o mínimo de palavras
- Levar em consideração o público (o idioma é um obstáculo?)
- Considerar o contraste (preto sobre branco é sempre a melhor opção)
- Considerar o uso de superfícies refletoras e como elas ficariam em condição de brilho
- Considerar tipo de fonte e espessura da letra

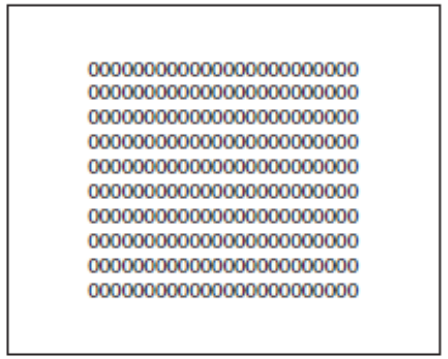
Para letras preto sobre fundo branco, a espessura ideal é entre 1:6 e 1:8
Para letras brancas sobre fundo preto, a espessura ideal é entre 1:8 e 1:10

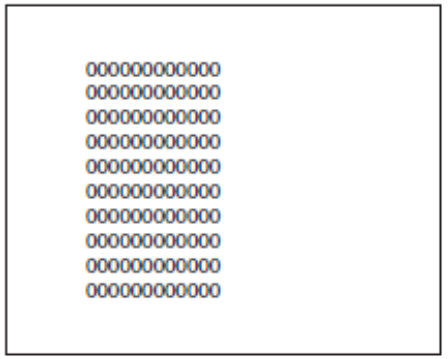


Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais alfanuméricos
- Levar em conta a densidade total e local da placa

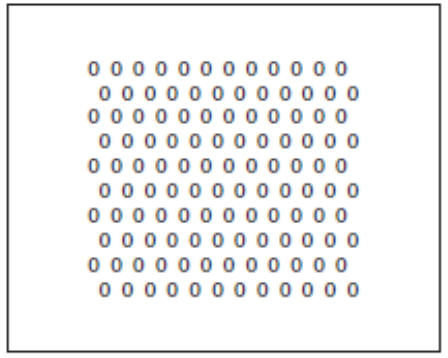
(a) Densidade total: 100%
Densidade local: 81%

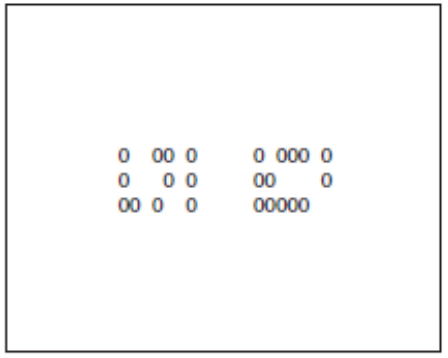




(b) Densidade total: 50%
Densidade local: 72%

(c) Densidade total: 50%
Densidade local: 39%

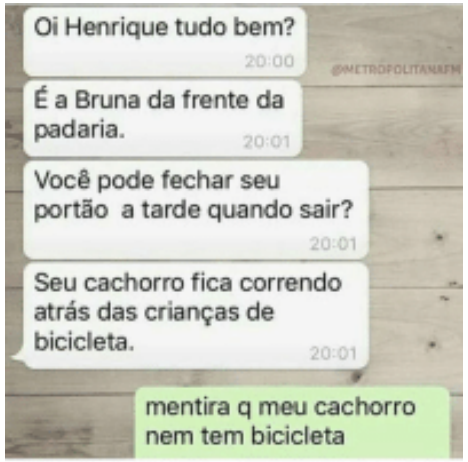




(d) Agrupamento em dois conjuntos

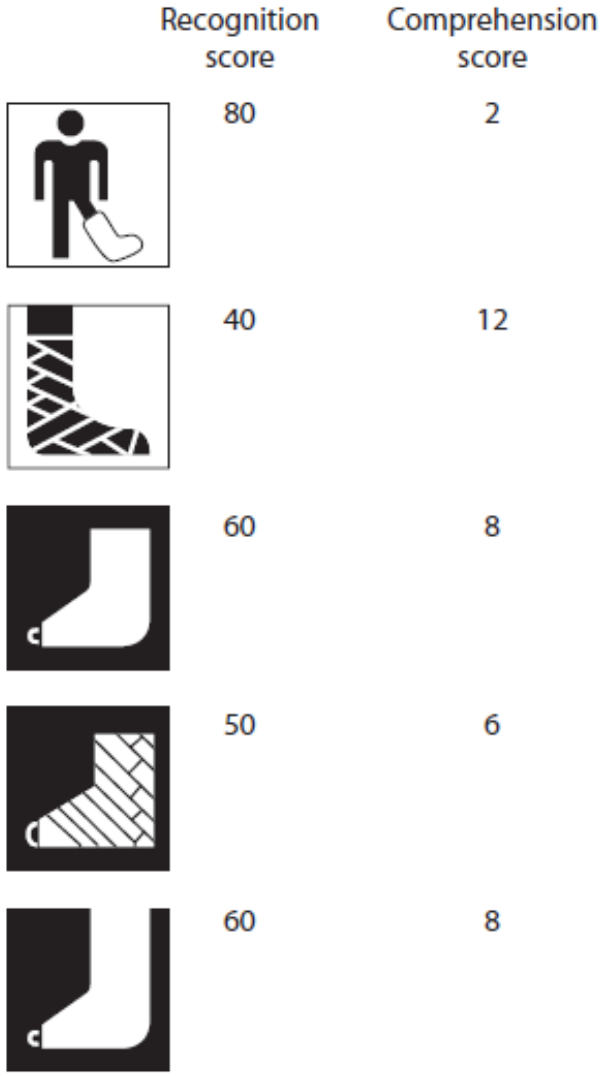
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais alfanuméricos
- Atenção à efetividade da mensagem transmitida



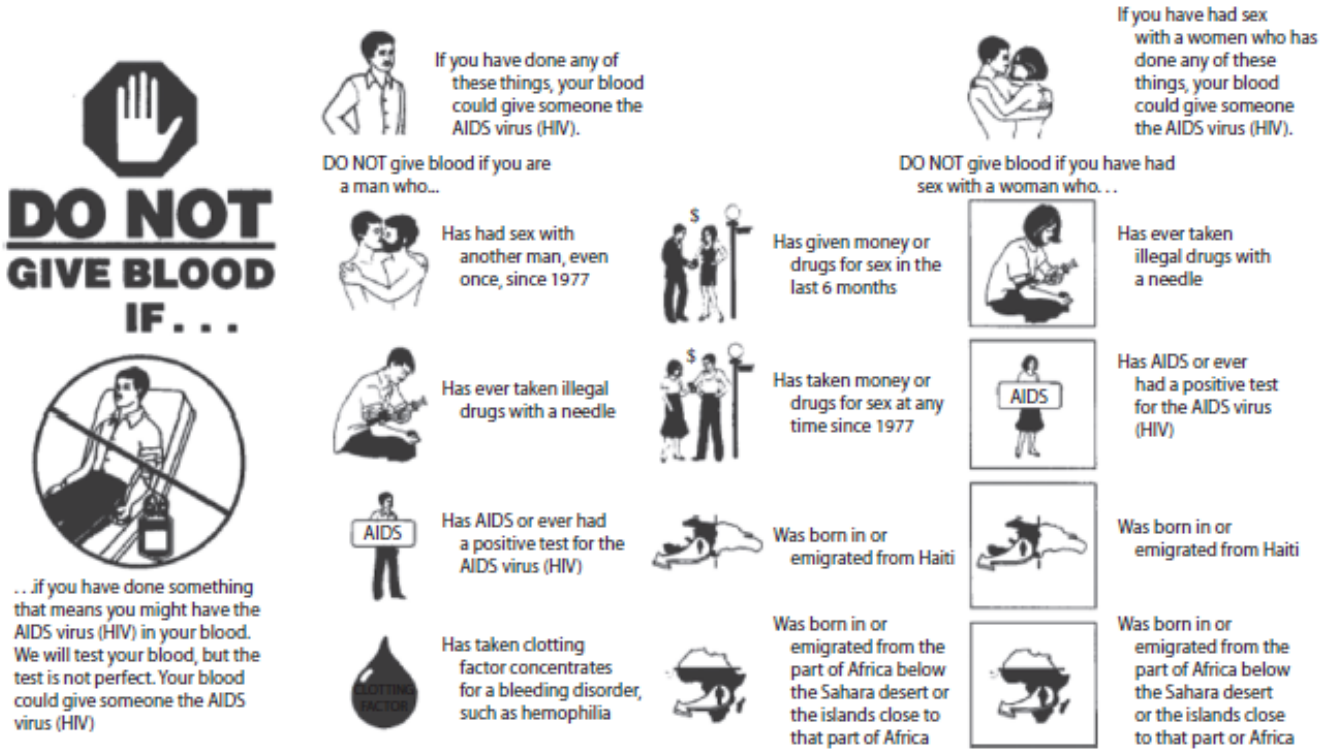
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais simbólicos
- Também chamados de pictóricos
- Devem levar em consideração também a capacidade de reconhecimento e de compreensão da mensagem



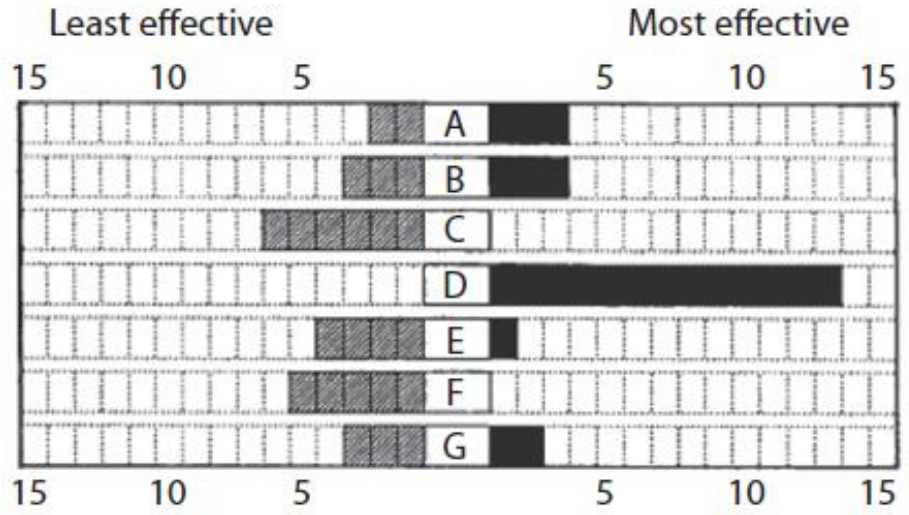
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais simbólicos
- Exemplos de (má) efetividade em transmissão da mensagem



Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais simbólicos
- Exemplos de (má) efetividade em transmissão da mensagem



Displays visuais

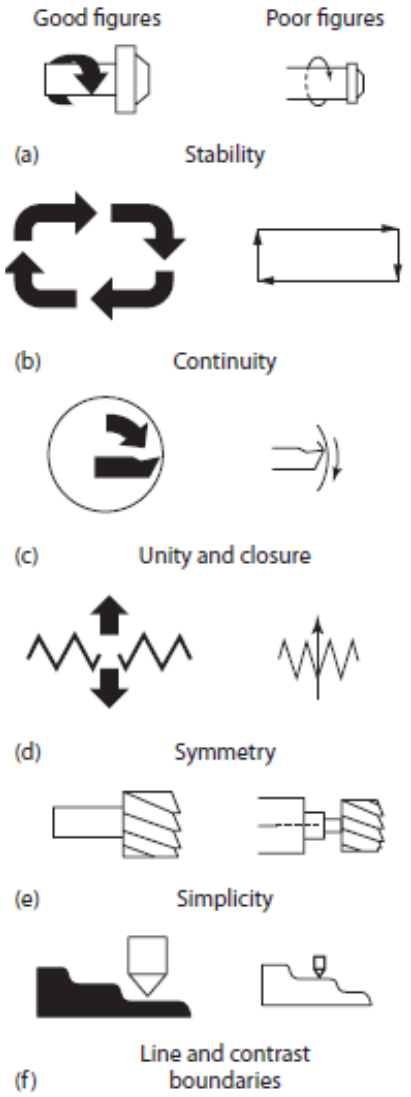
- **Displays visuais estáticos**
- Sinais simbólicos
- Por que esses exemplos são ruins?

(além do caráter preconceituoso, claro...)

- São princípios importantes em sinais pictóricos:
  - Princípios de Gestalt
  - Boa distinção entre a figura e o fundo, para evitar ambiguidades
  - Figuras simples e simétricas, para facilitar a compreensão
  - Figuras fechadas e sólidas, simplificam a interpretação
  - Figuras com contornos suaves e contínuos, que facilitam a comunicação
  - Preferência por uso de figuras “padronizadas”

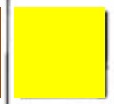
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Sinais simbólicos
- Exemplos



Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- <u>Codificação</u>
- Em displays visuais, algumas formas de codificação podem facilitar a interpretação em diferentes aplicações

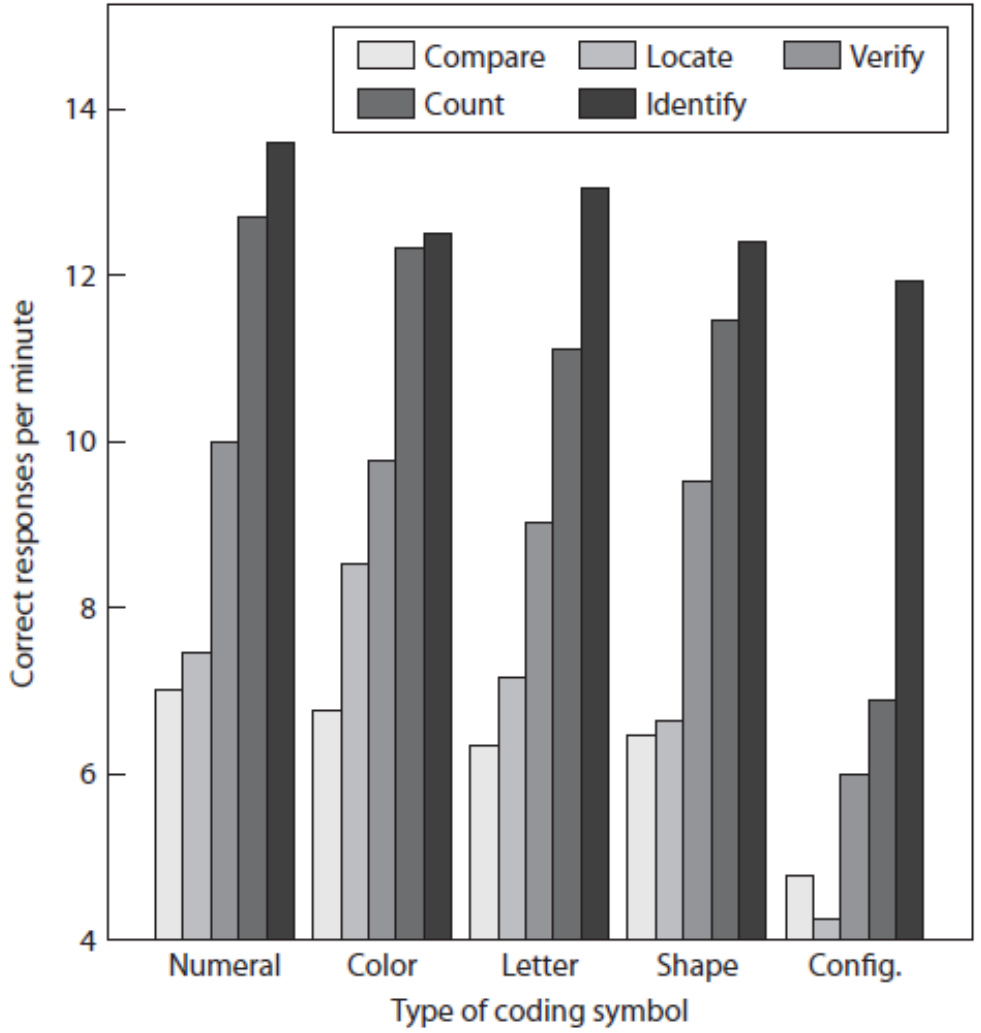
Numeral	1	2	3	4	5	6	7	8
Letter	A	B	C	D	E	F	G	H
Geometric shape								
Configuration								
Color								

Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- <u>Codificação</u>
- O conceito de codificação é extensamente usado em cockpits aeronáuticos, seja nas cores de alertas, símbolos, indicações numéricas/letras, etc.

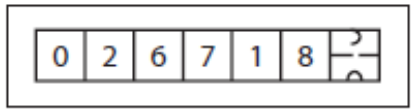
Displays visuais

- **Displays visuais estáticos**
- Codificação
- Diferentes tipos de codificação são mais efetivos em diferentes aplicações



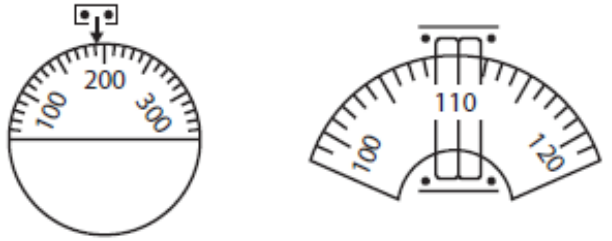
Displays visuais

- **Displays visuais dinâmicos**
- Podem ter diferentes configurações:
  - Leitura direta
  - Ponteiro móvel – escala fixa
  - Ponteiro fixo – escala móvel



Direct reading counter

Moving pointer–fixed index



Fixed pointer–moving scale

Displays visuais

- **Displays visuais dinâmicos**
- A escolha do tipo de display a ser usado depende da aplicação

Choice of Display Indicator as a Function of Task

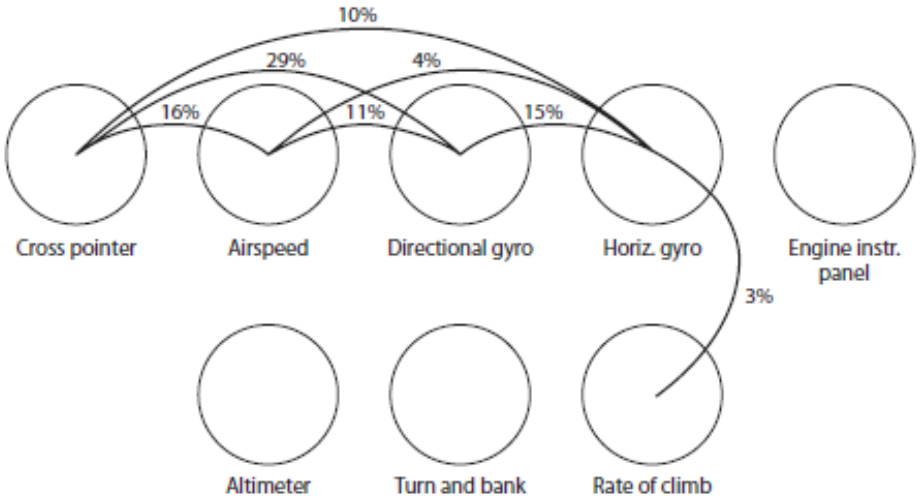
Use of Display	Type of Task	Display Typically Used for	Type of Display Preferred
Quantitative reading	Exact numerical value	Time from a clock, rpm from tachometer	Counter
Qualitative reading	Trend, rate of change	Rising temperature, ship off course	Moving pointer
Check reading	Verifying numerical value	Process control	Moving pointer
Setting to desired value	Setting target bearing, setting course	Compass	Counter or moving pointer
Tracking	Continuous adjustment of desired value	Following moving target with cross hair	Moving pointer
Spatial orientation	Judging position and movement	Navigation aids	Moving pointer or moving scale

Displays visuais

- **Displays visuais dinâmicos**
- Em um cockpit aeronáutico são utilizados diferentes tipos de display. Em alguns casos escolhidos por serem a melhor opção, em outros, por questões de “tradição”

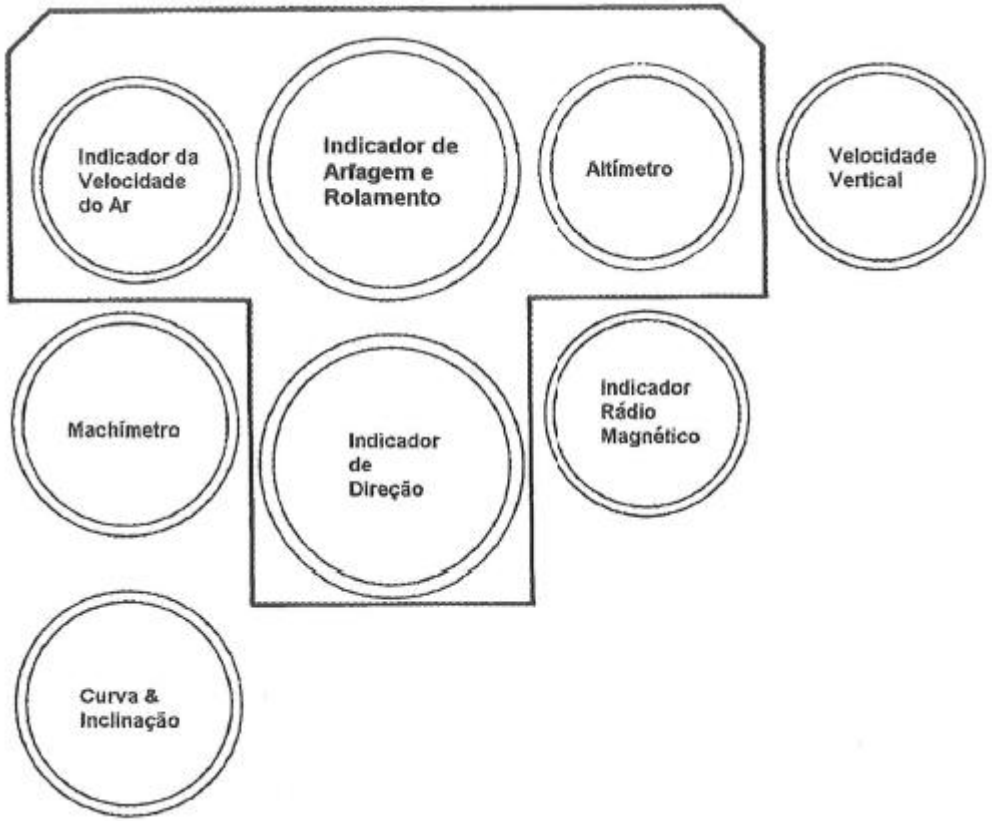
Displays visuais

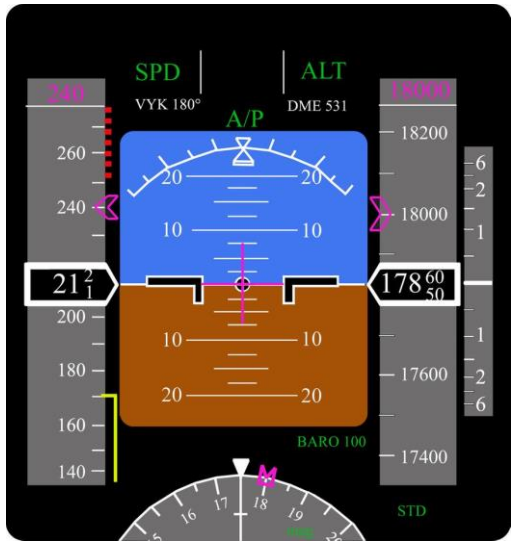
- **Distribuição dos displays**
- Um estudo deve ser realizado para a distribuição da posição dos diversos displays
- Displays com uso mais frequentes devem estar na posição frontal, na região de visada da fóvea
- Os que possuem transições mais frequentes devem ser os mais próximos



Displays visuais

- **Distribuição dos displays**
- Em aeronáutica, a posição dos principais displays a padronizada por requisito (o “T básico”)

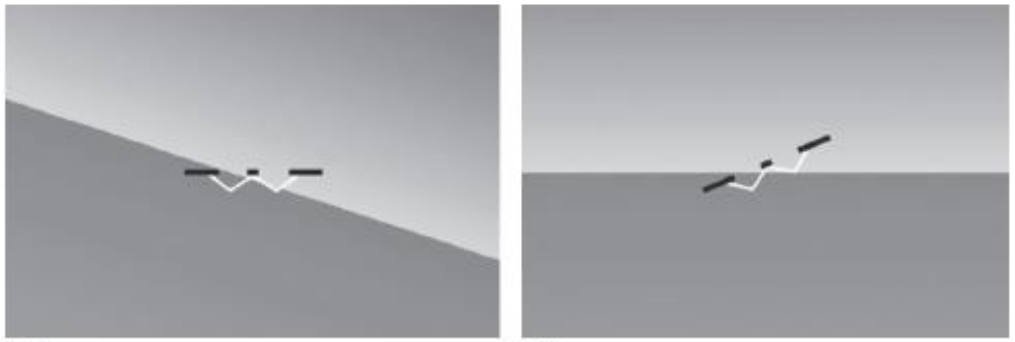




FONTE: deviantart.com

Displays visuais

- **Interpretabilidade de movimento**
- Muito comum em cockpits aeronáuticos



De dentro para fora

De fora para dentro

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Display especiais

- **Head-up displays**

- Durante a Segunda Guerra Mundial, as aeronaves de ataque possuíam alças de mira em seu armamento, melhorando consideravelmente sua precisão de tiro

- Com o aumento do desempenho das aeronaves, tais dispositivos não supriam mais a necessidade de precisão, sendo criados os dispositivos eletrônicos para auxílio

- Para facilitar o ataque, criou-se uma forma de o piloto poder controlar a aeronave (olhando para fora) e utilizar a mira eletrônica (olhando para os instrumentos) ao mesmo tempo

Display especiais

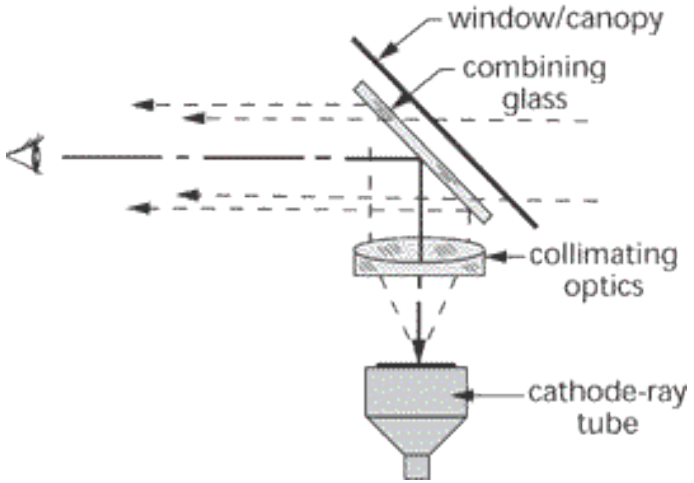
- **Head-up displays**

- A partir de meados da década de 70, foram criados os Head-up Displays na forma que conhecemos hoje

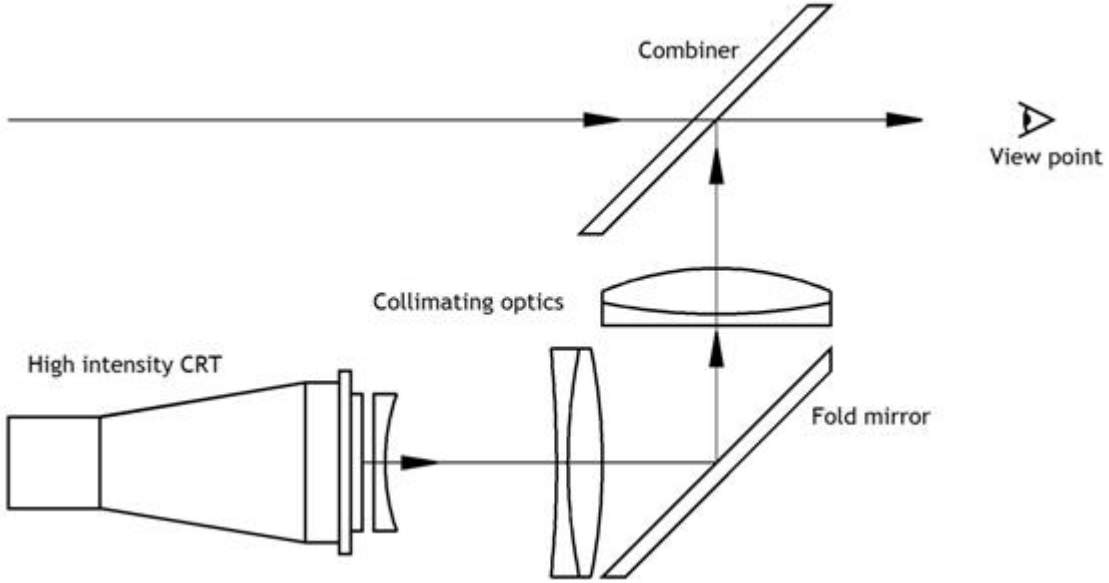
FONTE: Wikipedia

Display especiais

- **Head-up displays**
- Princípio de Funcionamento
- O HUD capta as informações do sistema aviônico digital (AHRS, ADC, sistema de ataque, etc.), simplifica a imagem, a transforma em uma imagem de raios catódicos e projeta em uma tela semitransparente em frente ao piloto



FONTE: photonics.com



FONTE: mikesflightdeck.com

Display especiais

- **Head-up displays**
- Modelos

FONTE: f-16.net

FONTE: moddb.com

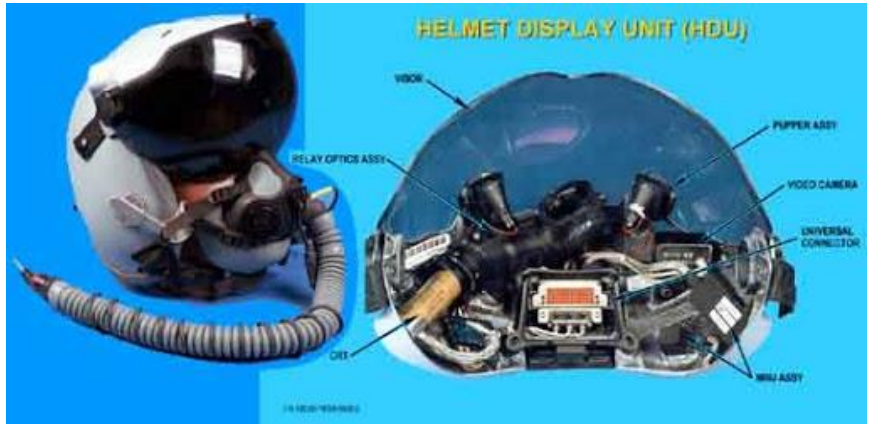
FONTE: artemis-optical.co.uk

Display especiais

- **Head-up displays**
- Modelos
- Alguns modelos de HUD são montados no próprio visor do capacete, chamados de Head-mounted display (HMD)

FONTE: helis.com

FONTE: sistemasdearmas.com.br



Display especiais

- **Modelos**
- Atualmente, carros esportivos de luxo possuem HUD como opcional

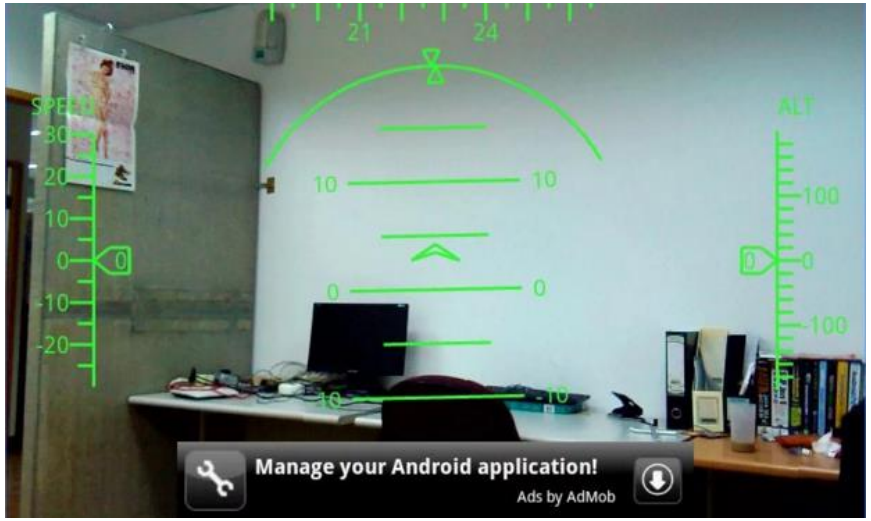
FONTE: bmw-oman.com

FONTE: xiaomist.com

Display especiais

- **Head-up displays**
- Modelos
- Aplicativos para smartphones

FONTE: pcworld.com



FONTE: allfreeapk.com

Display especiais

- **Head-up displays**
- Modelos
- Com o tempo, foram adaptados HUDs para o uso em aeronaves civis

FONTE: airliners.net

https://www.youtube.com/watch?v=opiqvfrMGuc

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Displays sonoros

- Utilizado para alertas, em situações onde a visão está “ocupada”, ou em casos de deficiência visual
- Normalmente se privilegia mensagens curtas ou alarmes
- Em aviação, é importante que haja distinção entre mensagens de “caution” e “warning”, normalmente diferenciadas pelo volume e/ou entonação de frases
- Em alguns sistemas, alarmes sonoros com frases são utilizados. Eles devem ser claros, curtos e bem distinguíveis do ruído ambiente

Displays sonoros

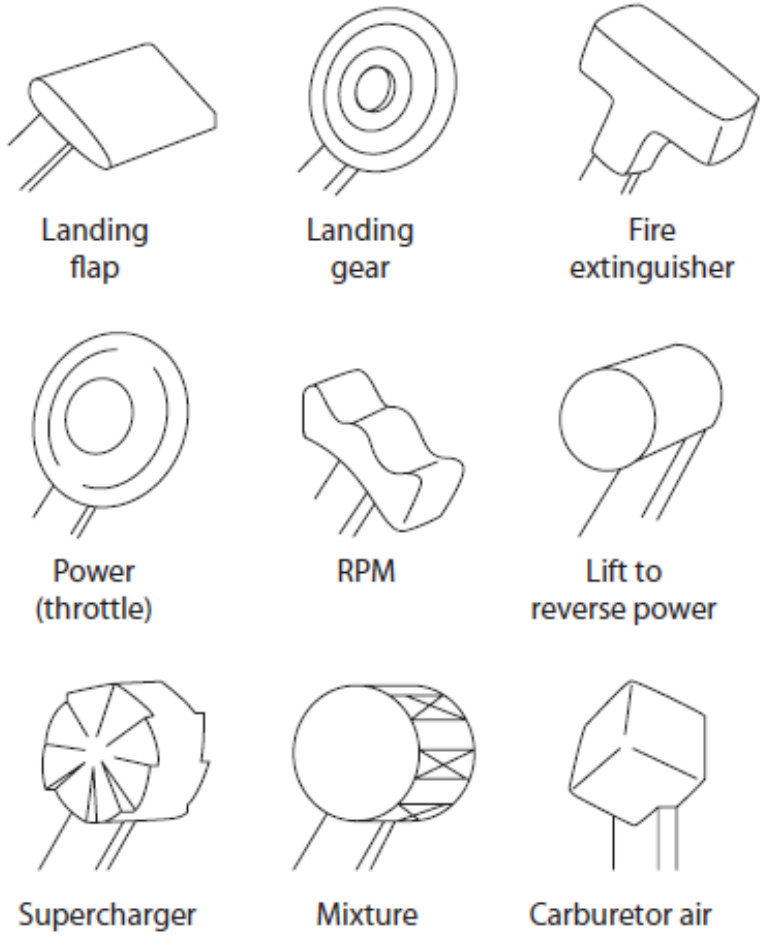
- Vídeos:

- http://www.youtube.com/watch?v=MpQejVs3ryc

- http://www.youtube.com/watch?v=z-6zF9PEtdU&feature=related

Sumário

- A audição
- O sistema vestibular
- O sistema sensorial
- Sensações químicas
- Apresentação de informações
- Displays visuais
- Displays especiais
- Displays sonoros
- Displays táteis

Displays táteis

- Utilizados em situações de deficiência visual e/ou auditiva, ou em operações onde o sentido visual deve star dedicado a outra direção
- Exemplo: alavancas em aeronaves