

Biofísica da fonação

Introdução

A fala e o canto são os meios de comunicação mais evoluídos de que dispõe o homem. Através dessas habilidades, as ideias, as informações e as sensações podem ser expressadas. A voz humana desempenha papel fundamental na integração do homem como ser social. Do ponto de vista médico, além dos sons articulados da fala e do canto, muito interessa os sons que não estão relacionados à lingüística, tal qual o riso, a tosse, o choro, o grito, o gemido, o suspiro, o balbuciar, os estalos com a língua, o bocejo, o ronco, o espirro, etc.

O aparelho fonador no homem é composto por: fossas nasais, boca e anexos, úvula, faringe, laringe, traquéia, brônquios, bronquíolos, pulmões, músculos da parede torácica, diafragma, músculos abdominais, centros nervosos coordenadores da fala e do canto e centros nervosos responsáveis pelo controle da respiração.

A fonação envolve centros de controle específicos da fala no córtex cerebral, funções mecânicas na produção de um som audível (voz) e o controle desse som para produzir um fonema definido.

As ondas mecânicas são perturbações ou distúrbios que se propagam através de meios materiais. São ondas mecânicas: ondas em cordas, ondas na água e as **ondas sonoras**.

Animais usam a vocalização como: localização por ressonância, para afugentar invasores e inimigos, demarcar território, em rituais de acasalamento e na comunicação inter e intra específica.

Bases Físicas

Ondas mecânicas são muito utilizadas na medicina, odontologia, biologia, para tratamentos de saúde, observação interna de organismos e pesquisa em geral. Dentro de sua gama de comprimentos de onda, elas são utilizadas como meio de comunicação por diversas espécies e também para detecção da presença de seres vivos ou com elementos de orientação.

A importância das ondas mecânicas para diversas espécies é muito grande. Elas podem ser:

- **Transversais:** a perturbação é perpendicular à direção da onda. Ex: ondas produzidas por cordas.
- **Longitudinais:** a perturbação é paralela à direção de propagação da onda. Ex: ondas sonoras.

Som é a sensação produzida no ouvido humano por um trem de ondas que percorre um meio elástico e que satisfaz certas frequências e intensidades. O som não é transmitido no vácuo. Toda vez que experimentamos uma sensação sonora há:

- Um movimento vibratório de um meio material que pode ser sólido, líquido ou gasoso;

- Um meio material elástico entre o corpo vibrante e a orelha.

Sons distinguem-se um do outro pelas seguintes qualidades fisiológicas:

- Altura, ligada a frequência da onda sonora;
- Timbre, que depende dos harmônicos associados ao som fundamental;
- Intensidade fisiológica de um som, que está ligada à amplitude das ligações.

Os sons da voz humana são ricos em harmônicos, mas sua amplitude decresce muito rapidamente quando sua frequência cresce. Os sons audíveis pelos humanos devem ter frequências entre 20Hz e 20.000 Hz ou 20kHz. Isso corresponde a ondas sonoras no ar de $1,7\text{cm} < \lambda < 17\text{ m}$, uma vez que a velocidade dessas ondas no ar é uma constante igual a 343m/s.

A produção da fala é o resultado de um conjunto de processos que envolvem diversas partes do organismo. Essas partes experimentam interações entre si. A fala é consequência do movimento reduzido, aumentado e não coordenado dessas partes. A respiração proporciona a matéria prima para a fala, resultando:

- Na produção de um som que pode ser ouvido;
- No controle desse som, para produzir uma fonação concreta.

Durante a fonação, o ar da respiração produz uma vibração das cordas vocais que estão fechadas; o que resulta num som complexo. Entre os sons vocalizados, são produzidos segmentos mudos da corrente respiratória, que são emitidos entre as cordas relaxadas.

A frequência do som produzido pelas cordas vocais depende da tensão experimentada e de sua massa. A massa das cordas vocais no homem é maior do que na mulher. Logo, para uma tensão determinada, a frequência fundamental da voz no homem é menor do que na mulher.

- Homem: $V_1=125\text{ Hz}$; $V_2=250\text{ Hz}$ ($2V_1$), $V_3=3V_1, \dots$;
- Mulher: $V_1=250\text{ Hz}$; $V_2=500\text{ Hz}$ ($2V_1$), $V_3=3V_1, \dots$.

A corrente respiratória resultante com componentes periódicos e não periódicos deve ser modelada e modificada para produzir um fonema concreto.

A produção de um fonema segue a seguinte ordem:

- O conjunto faringe e as cavidades oral formam uma cavidade ressonante, que reforça certas componentes do som. Se a cavidade nasal se junta a outras cavidades, teremos o som nasal definido;
- Os músculos da parte superior da faringe e o palato mole iniciam, juntos uma conexão e/ou desligamentos com alteração na ressonância;
- A cavidade oral pode mudar as condições de ressonância para uma posição diferencial da língua e do maxilar inferior e por alteração na abertura dos lábios;
- A corrente respiratória passa a ser um fonema concreto por meio da impedância produzida pelos articuladores: língua, dentes e lábios.

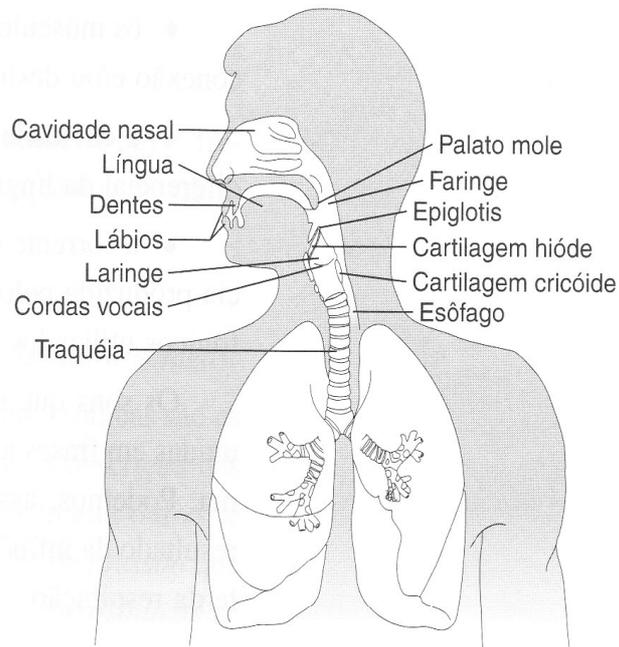


Figura 10.23 Componentes funcionais do mecanismo da fala.

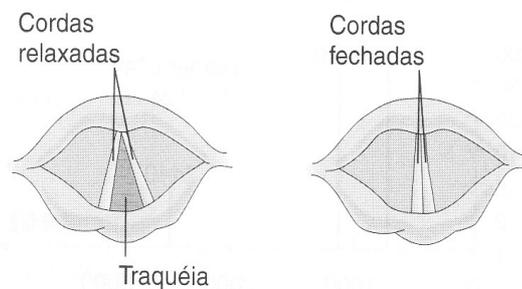


Figura 10.24 Funcionamento das cordas vocais.

Os sons que seguem uma rápida sequência agrupam-se em palavras; essas são unidas em frases a diferentes velocidades e com ritmos característicos de um idioma. Podemos, assim dizer, que a produção da fala pode ser considerada como resultado da influência de uma série de válvulas musculoesqueléticas sobre a corrente da respiração.

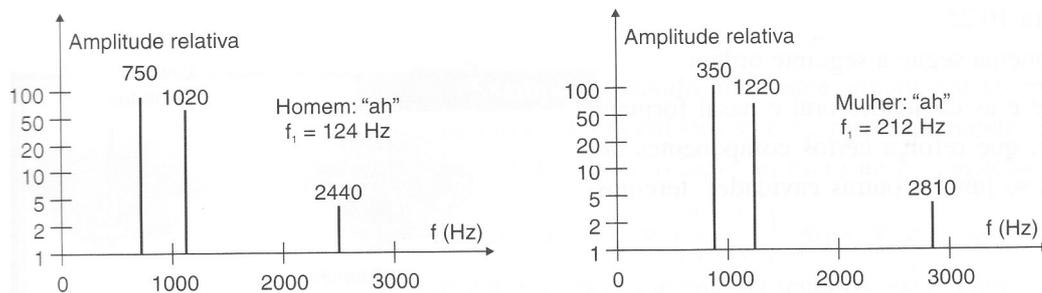


Figura 10.26 Amplitudes relativas dos primeiros três fônicos da pronúncia "ah".

A produção da voz

A voz é algo tão característico e importante como a nossa própria fisionomia e impressão digital ela varia de acordo com o sexo, idade, profissão, personalidade, estado emocional e a intenção que a usamos. Ela também mostra quem nós somos, além de conseguirmos nos comunicar com outras pessoas só utilizando a voz, como por exemplo em uma conversa ao telefone, e seremos compreendidos perfeitamente.

Sua emissão começa a partir do ar que sai dos pulmões, passa pela laringe, onde estão localizadas as pregas vocais, as mesmas no momento da expiração, aproxima-se e vibram, produzindo assim o som. Este som, que de início é baixo e fraco, será amplificado pelas cavidades de ressonância (que são a faringe, boca e nariz). Após amplificado, o som será articulado na cavidade oral, por meio dos lábios, bochechas, língua, palato e mandíbula.

Ao contrário do som produzido pelas cordas de um instrumento musical ou mesmo por membranas elásticas vibrantes, o som gerado nas cordas vocais é produzido pela corrente de ar expirada. Nos instrumentos e membranas vibrantes o som é produzido por variações de pressão que eles produzem sobre o meio elástico circundante. Os sons vocálicos devem-se a sucessivas interrupções da coluna de ar que se movimenta nos tubos respiratórios; essa maneira de gerar sons assemelha-se a àquela encontrada em instrumentos de sopro (saxofone, clarinete, trompete, etc).



Vários fatores de origem biofísica interferem na vibração das cordas vocais:

- Gradiente de pressão entre as superfícies superior e inferior das cordas vocais
- Elasticidade das cordas vocais
- Tensão das cordas vocais
- Efeito Venturi

Elasticidade, tensão das cordas vocais e efeito Venturi: as cordas vocais são dotadas de elasticidade e mantêm-se tensas pela ação dos músculos da laringe. Em virtude da progressiva compressão exercida pelos elementos elásticos responsáveis pela expiração, a diferença de pressão aplicada sobre as cordas vocais cresce até atingir um nível elevado para forçar a passagem do ar por entre as cordas. Ali, o movimento do ar em alta velocidade reduz a pressão lateral exercida sobre as cordas vocais (Efeito Venturi), favorecendo a ação oclusora dos músculos da laringe e promovendo o fechamento do espaço entre as cordas vocais. Como o ciclo expiratório continua a se desenvolver, o gradiente de pressão volta a crescer até alcançar novamente a pressão da abertura da glote, reiniciando o processo de fragmentação da coluna de ar. A frequência dessa fragmentação é proporcional à tensão a que estão submetidas as cordas vocais, bem como a velocidade com que se desenvolve o gradiente de pressão entre as suas superfícies.



Figura 4.3 – Processo de produção dos sons vocálicos. Os movimentos de abertura e fechamento das cordas vocais fragmentam a coluna aérea expirada. (Adaptado de Mello, 1992, p. 129.)

- Fatores que alteram a voz: além das cavidades ressonantes, a massa das cordas vocais interfere com a tonalidade da voz. A testosterona promove alterações da voz, porque aumenta a massa das cordas vocais e desenvolve a laringe. Com o crescimento, a laringe se torna maior e mais baixa.

Fisiologia do canto das aves

Quando um pássaro abre o bico e lança o seu canto, ele não está executando um ato voluntariamente artístico. Seu objetivo é outro: ele está de alguma forma se expressando ou manifestando um sentimento específico.

Enquanto o homem e outros mamíferos possuem sonoridade a partir da laringe, a caixa de voz dos passeriformes se situa na siringe localizada na parte inferior da traquéia. Descobriram os técnicos em bioacústica que a capacidade daquele órgão se reflete na amplitude auditiva da ave. Cada espécie de ave cantora reage melhor às frequências das quais se compõe sua própria vocalização, a qual abrange até oito oitavas. Segundo Crawford Greenewalt autor de *Bird Song: Acoustics and Physiology*, "os passaros não possuem ressonâncias propiciadas pelas cavidades humanas". Com isto, os estudiosos da fisiologia do canto dos pássaros chamam a atenção para um fato importante. Enquanto nas aves a siringe é de certa forma o único aparelho formador do som, nos humanos, além da laringe, entra em jogo a complexidade do aparelho fonador que modula o timbre. Mesmo assim as aves conseguem realizar façanhas maravilhosas, inclusive emitir 45 notas por segundo. E, no tocante à duração do canto, certas aves conseguem a proeza de estendê-lo por mais de sete minutos. Isto só é possível porque elas respiram enquanto cantam, ficando esta ação expressa no ritmo. Há no entanto pássaros que produzem música instrumental, ou seja, aquela que a siringe não é chamada a participar. A manifestação sonora é produzida pelo estalar dos bicos, pelo chocar de penas e mesmo nas vias respiratórias --- sem interferência da siringe --- através de almofadas de ar que certas aves apresentam no tórax. Nestes casos, a comunicação acústica prescinde a siringe e inexistente a vocalização até mesmo nos atos de corte e sedução que precedem o acasalamento.

Todo pássaro canoro tem inscrito em seu código genético as instruções que lhe permitem emitir as vozes de chamada, manifestações sonoras básicas como gritos ou pios que as caracterizam. O canto e suas variantes são aprendidos com indivíduos adultos da mesma espécie, e certos pesquisadores chegam a afirmar que um pássaro jovem necessita de cerca de cem dias para dominar a vocalização característica de sua espécie. Deste modo fica claro que o estímulo social faz parte do processo de aprendizado. Sem estímulo os pássaros não aprendem os cantos. E, tanto isso é verdade que a falta de exemplos sonoros pode levar a deformações.

Embora ocorra uma tendência de padronização do canto, não raro dentro de uma mesma espécie, pode-se verificar dialetos em raças que se distanciaram geograficamente. Em alguns casos, os dialetos se afastaram tanto da manifestação do canto que uma ave não reconhecerá o canto de sua própria espécie gravado em outra população; reconhecerá somente chamadas, que por serem geneticamente herdadas, permanecem inalteradas.

O canto dos pássaros caracterizado pelo acúmulo de série de notas diferentes vem a ser uma manifestação típica de domínio territorial. Com ele a ave adverte suas semelhantes sobre limites de seu território e atrai a fêmea para função de perpetuação da espécie. Na época do acasalamento, além dos machos, as fêmeas se põem a cantar em duetos de rara harmonia e complexidade. O canto parece ser uma resposta à química hormonal que se opera em seus organismos. Também na época da reprodução verificam-se os cantos da madrugada e do crepúsculo, inteiramente diferente dos padrões emitidos durante o restante do dia.

As aves canoras não se limitam a emitir suas vozes peculiares apenas na época de sua procriação. Os cantos mais ricos e variados em motivos não estão presos aquele impulso vital, nem se prendem a nenhuma intenção comunicativa. Na verdade os cantos que nós mais apreciamos são os lançados pelas aves ainda jovens, durante o aprendizado, ou em indivíduos cujo desenvolvimento sexual declinou. A vocalização é então entoada em meia-voz e recebe a designação de canto secundário.

Localização por ressonância ou sonar animal

Alguns vertebrados obtêm informações a partir de reflexões fracas ou ecos de sons produzidos por eles próprios.

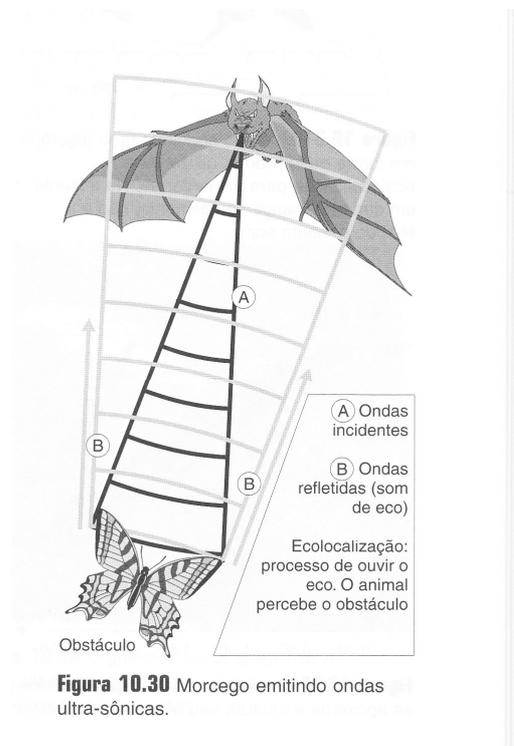
Ecolocalização descreve um sistema de auto-informação um mesmo animal possui um órgão para emitir um sinal acústico e outro órgão para receber sinais que podem ser o eco do sinal emitido. Animais que têm a capacidade de captar o sinal refletido por um obstáculo de uma onda emitida por ele podem avaliar a distância do obstáculo. Se o sinal emitido varrer um certo setor, o animal poderá diferenciar o contorno de um obstáculo nesse setor.

As características principais dos animais com capacidade de ecolocalização são:

- Possuem mecanismo evoluído para gerar sons, como os morcegos, cetáceos, pássaros, mussaranhos;
- Possuem grande extensão espacial para as suas atividades (nadadores , voadores);
- Consomem sua atividade diária em mais ou menos completa escuridão.

Normalmente, quando o morcego está em repouso, ele emite poucos estalidos .Ao preparar-se para voar,o morcego emite em torno de 20 estalidos por segundo.Quando está voando,a duração dos pulsos muda constantemente;e ela dependerá se o animal estiver voando para se alimentar ou se estiver passando perto de obstáculos pequenos ou do solo.

No caso do morcego:



Observamos que a intensidade dos pulsos emitidos por um morcego não é uniforme,em todas as direções.Há um máximo na direção frontal do animal.

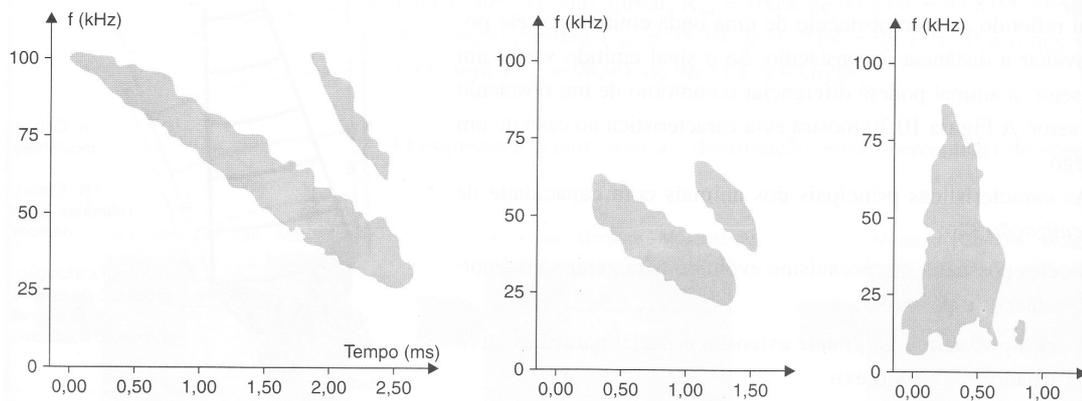


Figura 10.32 Sons de ecolocalização emitidos pelo morcego *Myotis myotis* nas fases em que ele procura, se aproxima e captura seu alimento, respectivamente.

A fonte emissora dos sinais ultra-sônicos desses animais está localizada em seu trato respiratório. Estudos anatômicos de morcegos têm mostrado que esses animais apresentam uma laringe muito grande, com estrutura altamente especializada. Com relação aos ouvidos a fonte de detecção dos ecos ultra-sônicos, esses apresentam uma sensibilidade muito apurada, capazes de identificar os ecos das ondas emitidas por outros obstáculos em sua vizinhança, que, frequentemente são de mesma intensidade. A maioria dos morcegos fica desorientada quando seus ouvidos são vedados ou fechados.

À semelhança do ouvido humano, o pavilhão do ouvido externo desse animais serve para focalizar o som. Os morcegos em geral possuem um cérebro especializado relacionado com seu modo de vida. Em particular, a área da audição é altamente desenvolvida.

Outras espécies de animais também possuem ecolocalização, por exemplo:

- Vertebrados aquáticos, como os golfinhos e as baleias. Como o som se propaga na água a 1500 m/s, pelo sistema de ecolocalização, em 2s, uma baleia pode “ver” objetos situados a 1500 m de distância.
- Pássaros, como *Steatornis caripensis*, que emite estalidos de 6,1 kHz a 8,75 kHz, e o *Collacalia brevirostris unicolor* que emite estalidos de 3kHz a 4Khz. Essas duas espécies também se orientam pela visão.
- Porco da Guiné (*Cavia cobaya*), emitem pulsos de até 54kHz. O *Rattus norvegicus* emite pulsos de 19 kHz até 29 kHz, e seu som de bufar chega até os 80 kHz.
- Os insetos, como o *Prodenio* e *Gyrinus*, emitem pulsos ultra-sonicos, mas desconhecemos se eles têm poder de ecolocalização.

Conclusão

Para os seres humanos, a produção de sons constitui o principal canal de comunicação. É pela fala que o ser humano pode entender e ser entendido, expressar sentimentos e emoções.

Quanto aos animais a vocalização e as perturbações mecânicas são canais primordiais de informação sensorial inter e intra espécies. Para muitos animais a emissão de sons serve como meio de informação direcional e busca de alimentação, vide o exemplo das baleias. Para outros serve para demarcar território, conquista de parceiro sexual, expressão de sentimento específico.

Referências Bibliográficas

DÚRAN, J.E.R. Biofísica Fundamentos e Aplicações. 3.ed. São Paulo: Pearson Education, 2006. 318 p.

GARCIA, E.A.C. Biofísica. 1.ed. São Paulo: Sarvier, 1998. 387p.

NIELSEN, K.S; DUKE. J.B. Fisiologia Animal- Adaptação e Meio Ambiente. 5.ed. São Paulo: Santos Editora, 2002. 611 p.

OKUNO, E.; CALDAS, I.L; CHOW, C. Física para ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Harbra, 1982. 490.

Fisiologia das aves- o canto Fonte : **Revista geográfica universal**

Nº 130 setembro de 1985. Disponível em :

<[http:// www.sitiodocurio.com.br/si/site/004205](http://www.sitiodocurio.com.br/si/site/004205)>. Acesso em: 19 de fev. 2011.