

# Processamento Digital de Sinais de Voz

## Características do sinal de voz

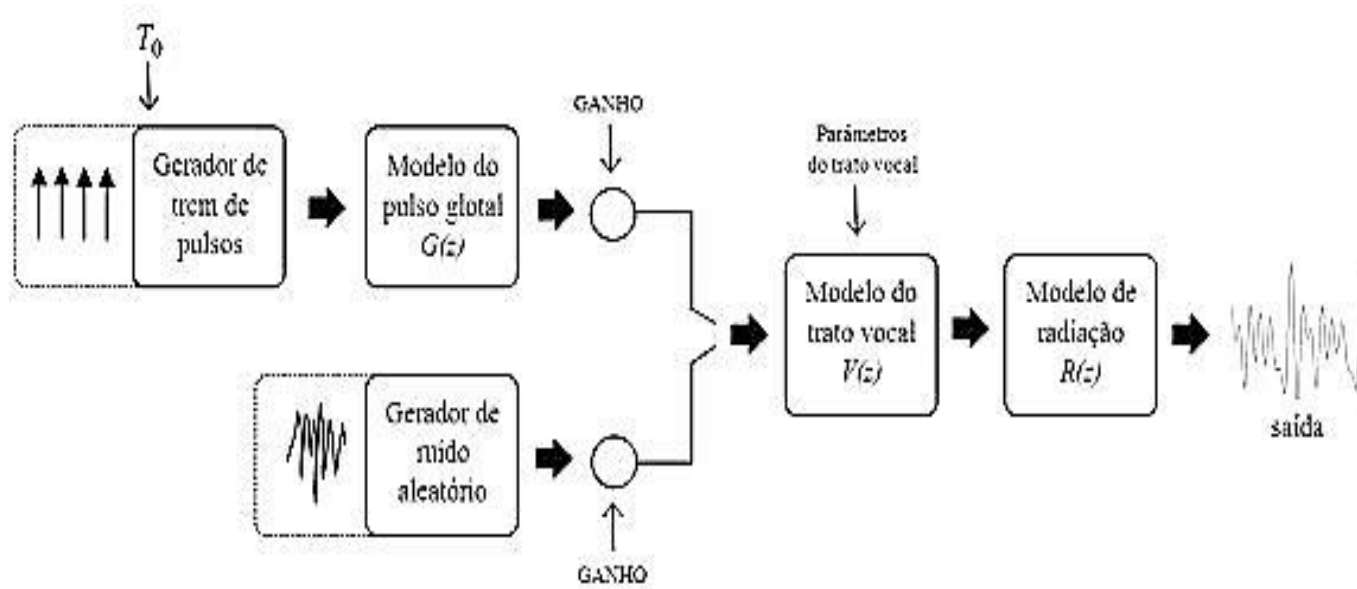
Silvana Cunha Costa



**IFPB**

**Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

# Mecanismo de produção da fala



$$H(z) = G(z) \cdot V(z) \cdot R(z)$$

$$H(z) = \frac{G(z)}{1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k z^{-k}}$$

Fig. 1 - Modelo geral discreto no tempo para produção da fala

# Produção do som vocal

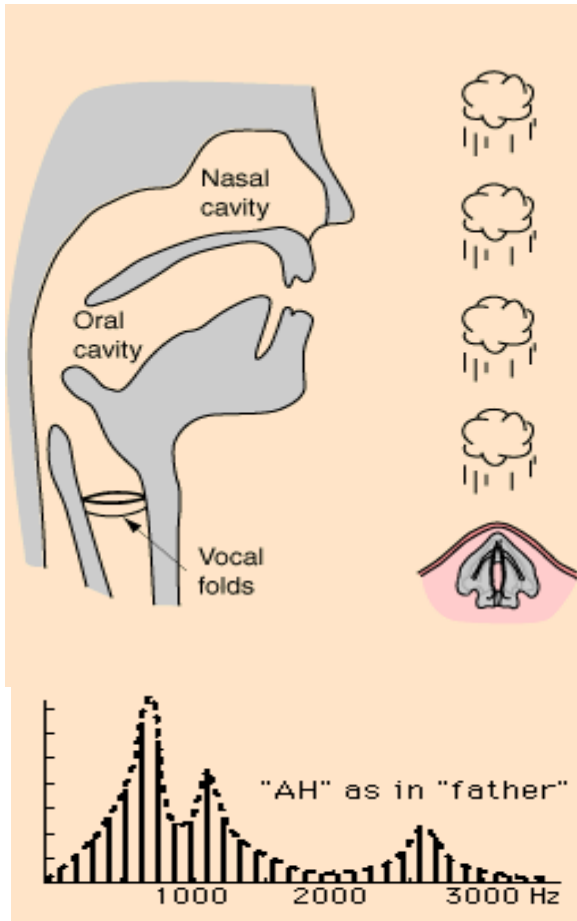
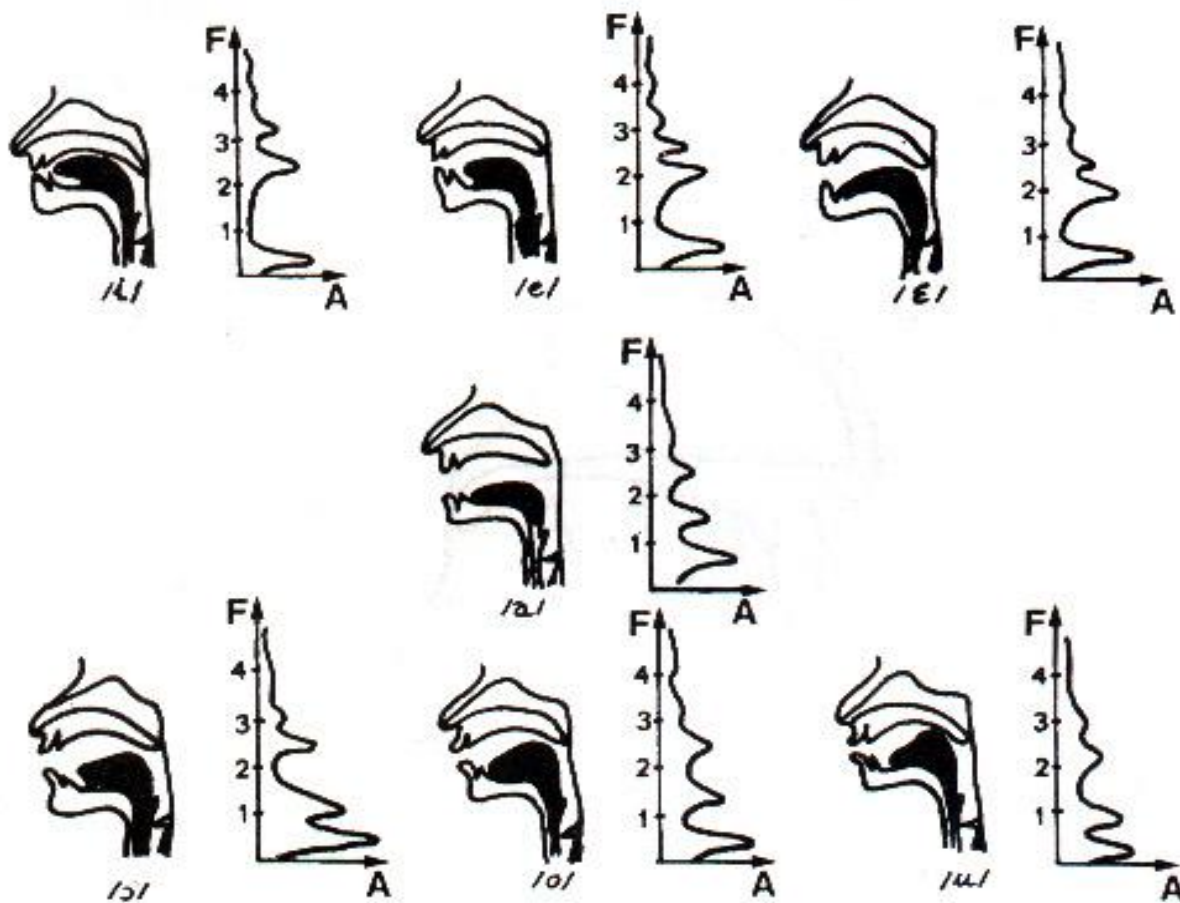


Fig. 2 – produção dos sons da fala - Formantes

- A ação do diafragma empurra o ar dos pulmões através das pregas vocais, produzindo um trem de pulsos periódico. Este trem de pulsos é formatado pelas ressonâncias do trato vocal <sup>1</sup>.
- As ressonâncias básicas são chamadas de formantes.
- As formantes podem ser alteradas pela ação dos articuladores para produzir sons da voz que podem ser distinguíveis, como as vogais.
- As frequências correspondentes aos picos do espectro do sinal glotal são chamadas de formantes, geralmente designados por  $F_1$ ,  $F_2$ , ...,  $F_N$  (primeiro formante, segundo formante, ..., n-ésimo formante) (Tujal, 1998).

<sup>1</sup> <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/voice.html#c1>

# Posição Articulatória das Vogais



# As vogais orais do português são:

/a/ - vogal oral, central, baixa, aberta.

/ɛ/ - vogal oral, anterior, média, aberta, não-arredondada.

/e/ - vogal oral, anterior, média, fechada, não-arredondada.

/i/ - vogal oral, anterior, alta, fechada, não-arredondada.

/ɔ/ - vogal oral, posterior, média, aberta, arredondada.

/o/ - vogal oral, posterior, média, fechada, arredondada.

/u/ - vogal oral, posterior, alta, fechada, arredondada.

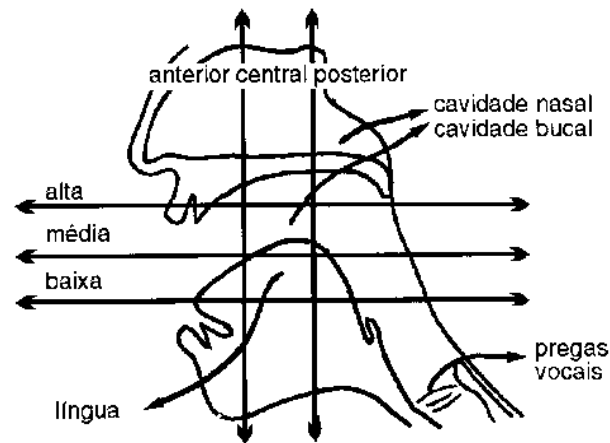


Figura 3 - Posicionamento dos órgãos articuladores (língua e da mandíbula) de acordo com o tipo de vogal (RUSSO e BEHLAU, 1993).

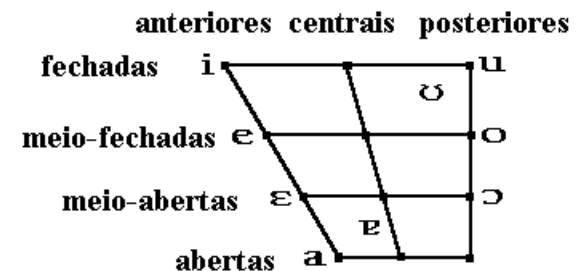
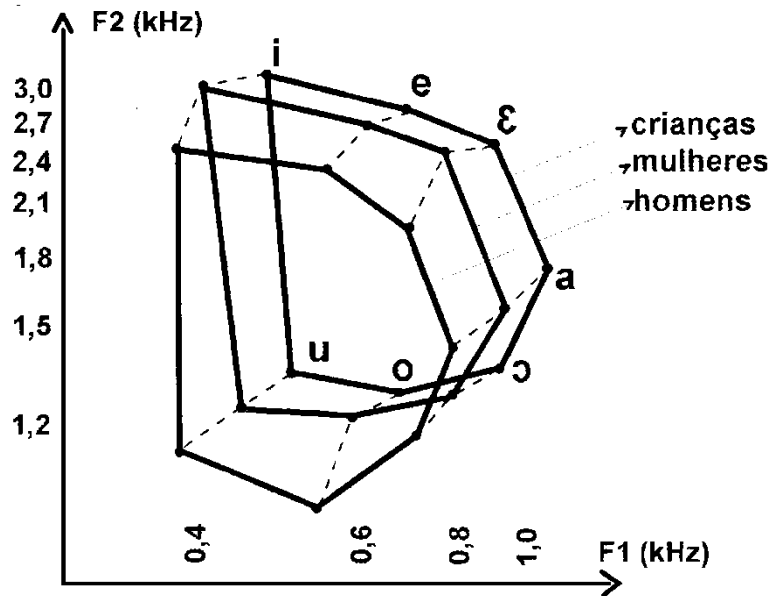


Figura 4 - Quadrilátero das vogais brasileiras, segundo o Alfabeto Fonético Internacional (IPA, 1993).

## Classificação das vogais segundo as Formantes

- As vogais podem ser classificadas segundo sua posição num plano  $F_1 \times F_2$ , visto na Figura 5, na qual são apresentados os valores médios dos primeiros formantes para homens, mulheres e crianças, para o português brasileiro.



*Cada indivíduo apresenta seus formantes particulares, para uma determinada vogal, devido às dimensões das estruturas do trato vocal, além do padrão articulatório pessoal.*

*É a relação entre as frequências de  $F_1$  e  $F_2$ , que determina a qualidade de uma vogal, em termos acústicos.*

Figura 5 - Classificação das vogais através de sua localização no espaço formado pelo primeiro e segundo formantes,  $F_1$  e  $F_2$  (RUSSO e BEHLAU, 1993).

# Vogais – forma de onda e formantes

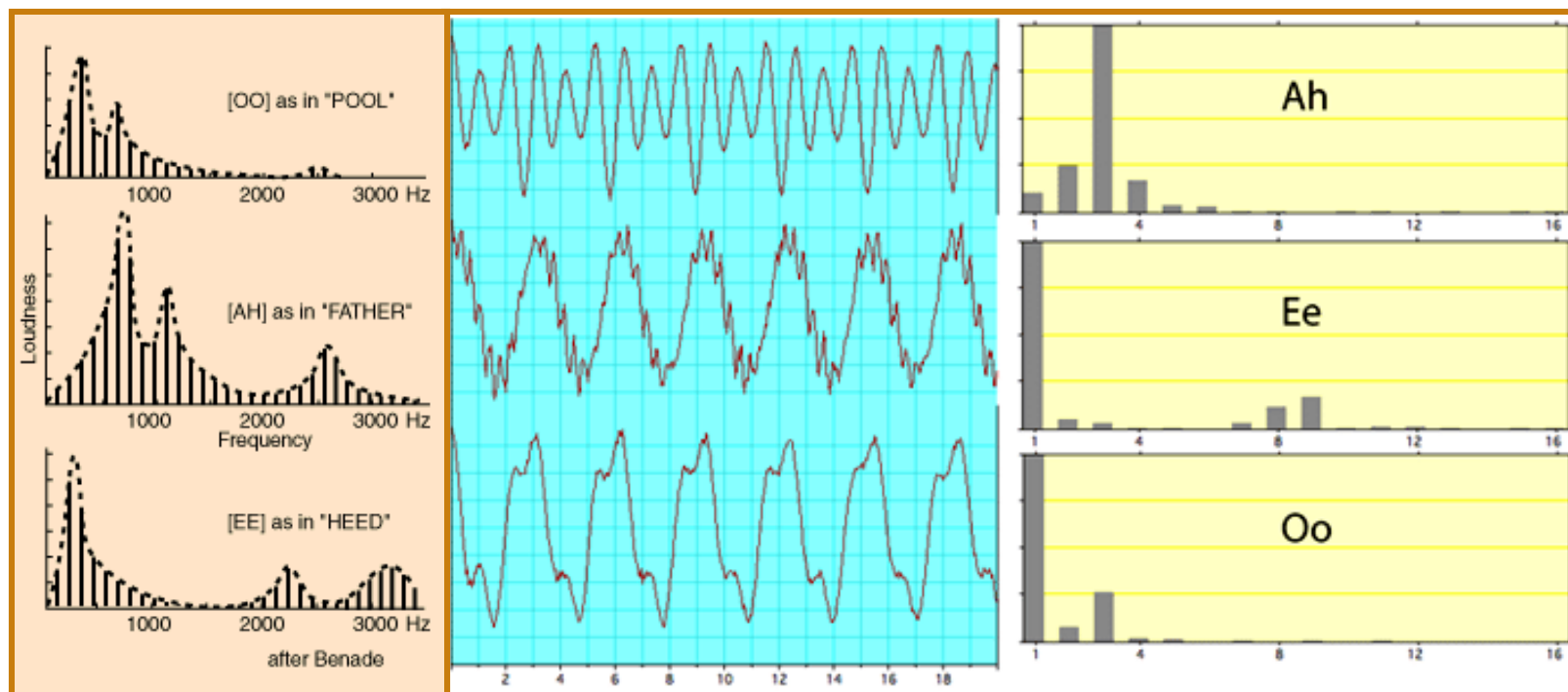
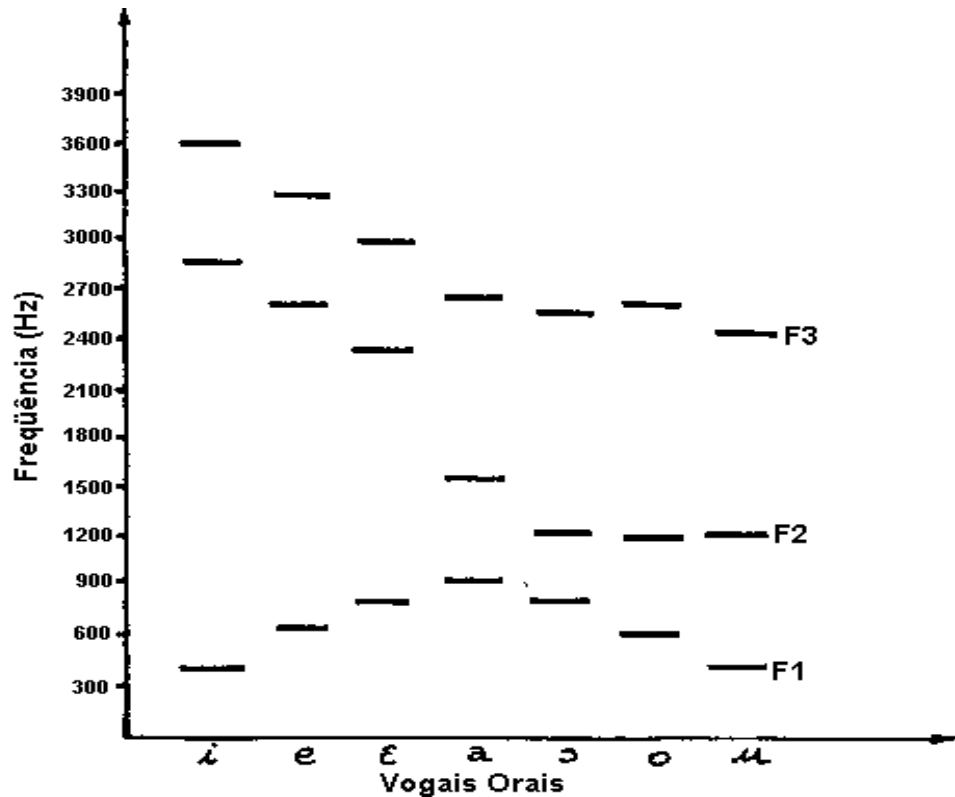


Fig. 6 – (a) Pulsos glotais; (b) Forma de onda das vogais /ah/, /Ee/ e /Oo/; (c) Formantes.

Fonte: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/vowel.html#c4>

## Formantes Português Brasileiro



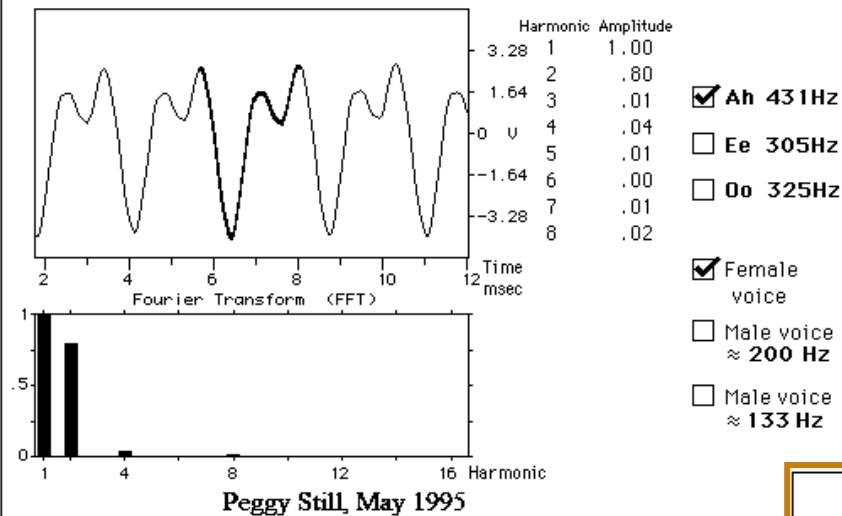
- Das vogais anteriores /i, e, ε/ em direção à vogal central /a/ - neste caso, observa-se um incremento na frequência de  $F_1$  e, por sua vez, as frequências de  $F_2$  e  $F_3$  relativamente próximas entre si, decrescem em direção à vogal central /a/.

Figura 7 - Frequências dos três primeiros formantes das vogais do português brasileiro (RUSSO e BEHLAU, 1993).



# Formantes

## "Ah" Vowel

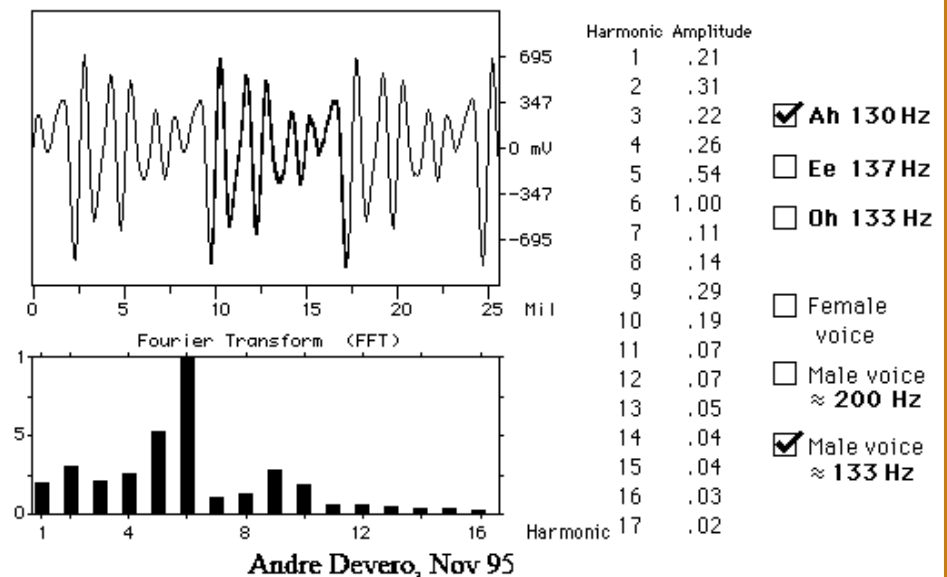


(a)

Fig. 8 – Forma de onda e Formantes Vogal /ah/: (a)voz feminina; (b) voz masculina

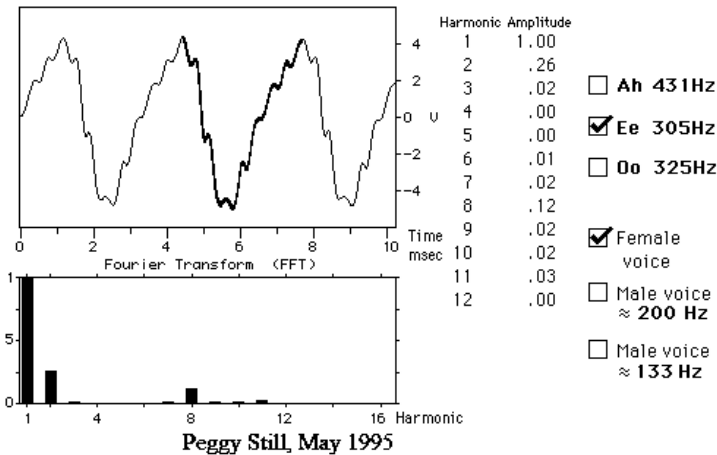
(b)

## "Ah" Vowel



# Formantes

## "Ee" Vowel

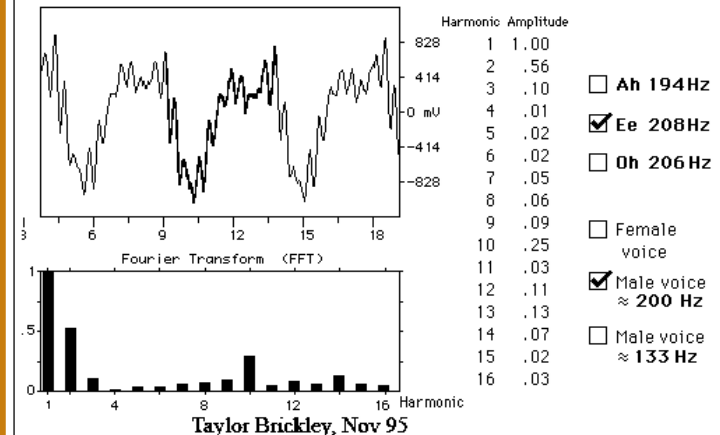


(a)

Fig. 9 – Forma de onda e Formantes Vogal /Ee/: (a) voz feminina; (b) voz masculina

(b)

## "Ee" Vowel



[Index](#)

[Voice concepts](#)

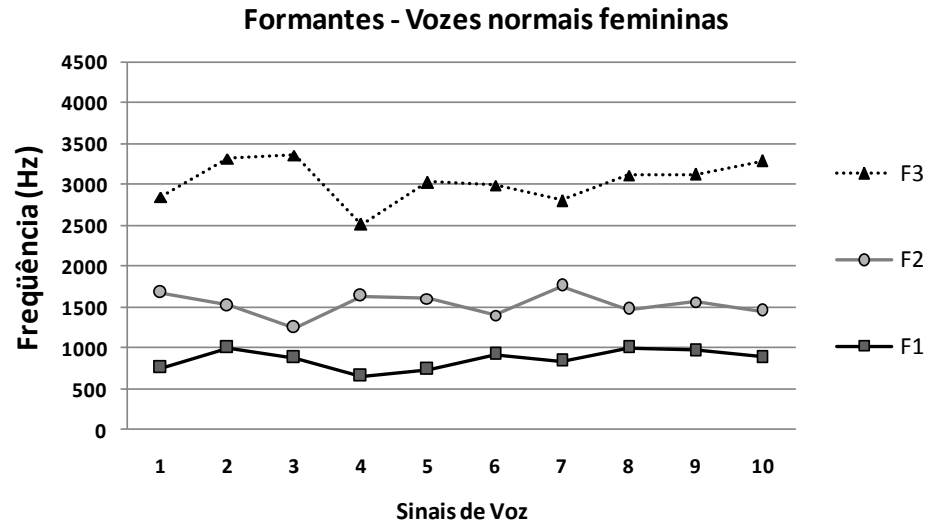
[Musical instruments](#)

[HyperPhysics\\*\\*\\*\\*\\* Sound](#)

[R Nave](#)

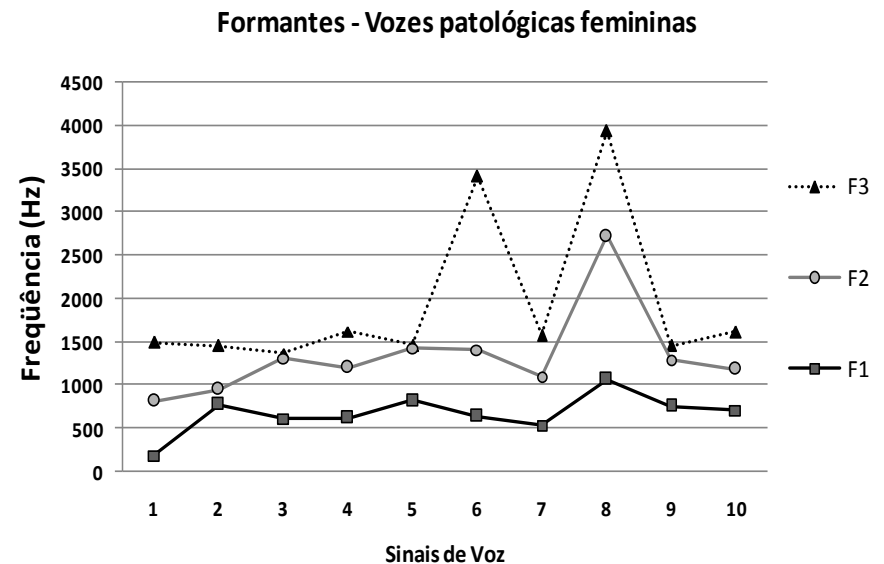
[Go Back](#)

(a)



(b)

Fig. 10 - Formantes para a vogal /ah/ sustentada para a base de dados “Disordered Voice Database – Kay Elemetrics), vozes femininas: (a) saudáveis; (b) patológicas (edema).



# Consoantes

- As consoantes são descritas em função da zona ou ponto de articulação e do seu modo de articulação. Para o português, as zonas significativas e respectivas para a articulação das consoantes podem ser:
- Os lábios entre si (consoantes bilabiais) → /p, b, m/
- A combinação do lábio inferior com os dentes superiores (labio-dentais) → /f, v/
- A língua e os dentes (linguodentais ou alveolares) → /t, d, n, l, r, s, z/
- A língua e o palato duro (consoantes linguopalatais ou palatais) → /ç, ʃ, ʎ /
  - d (às vezes e sempre antes de i), g (fraco, com som de j), j, t (às vezes e sempre antes de i); dígrafos ch, lh, nh
- A língua e o palato mole ou véu (consoantes linguovelares ou velares) → /k, g, ŋ/

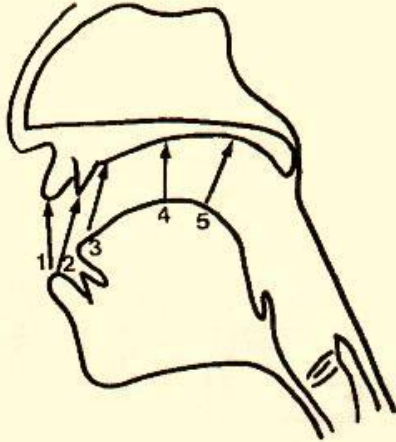


Figura 11 - Representação esquemática das zonas de articulação das consoantes do português:

1. bilabial; 2. labiodental; 3. linguodental; 4. linguopalatal; 5. linguovelar (Russo e Behlau, 1993).

- Segundo seus modos de articulação, as consoantes brasileiras podem ser: *oclusivas, fricativas ou líquidas*.

## ➤ Oclusivas

Há o bloqueio total do ar em algum local da cavidade oral - /p,b,t,d,k,g,m,n, ɲ/. As oclusivas orais - /p,b,t,d,k,g/ são chamadas de plosivas e as oclusivas nasais / m,n, ɲ/ apenas nasais (Russo e Behlau, 1993).

## ○ *Fricativas*

- As consoantes recebem o nome de fricativas quando o fluxo de ar passa por um grande estreitamento na boca, suficiente para produzir uma turbulência aérea - /f, v, s, z, ʃ, ʒ/.

## ○ *Líquidas*

- As consoantes são designadas líquidas quando o obstáculo à passagem do ar se restringe a um ponto - /l, λ, r, R/. Podem ser ainda divididas em laterais e vibrantes.
- **Laterais:** quando se mantém o obstáculo à saída do ar este passa pelos lados do mesmo - /l, λ/.
- **Vibrantes:** quando o obstáculo é ainda um ponto, mas a articulação se faz com uma ou mais batidas na língua - /r, R/.

A consoante vibrante múltipla alveolar [r] é encontrada em alguns dialetos de Portugal e do sul do Brasil (ex: rua, carro, mar);

A vibrante múltipla uvular [R], em alguns dialetos do francês (ex: bras [bRa]) e no alemão padrão (ex: Regen [Re:gan] , rar [Ra:R]).

# Consoantes

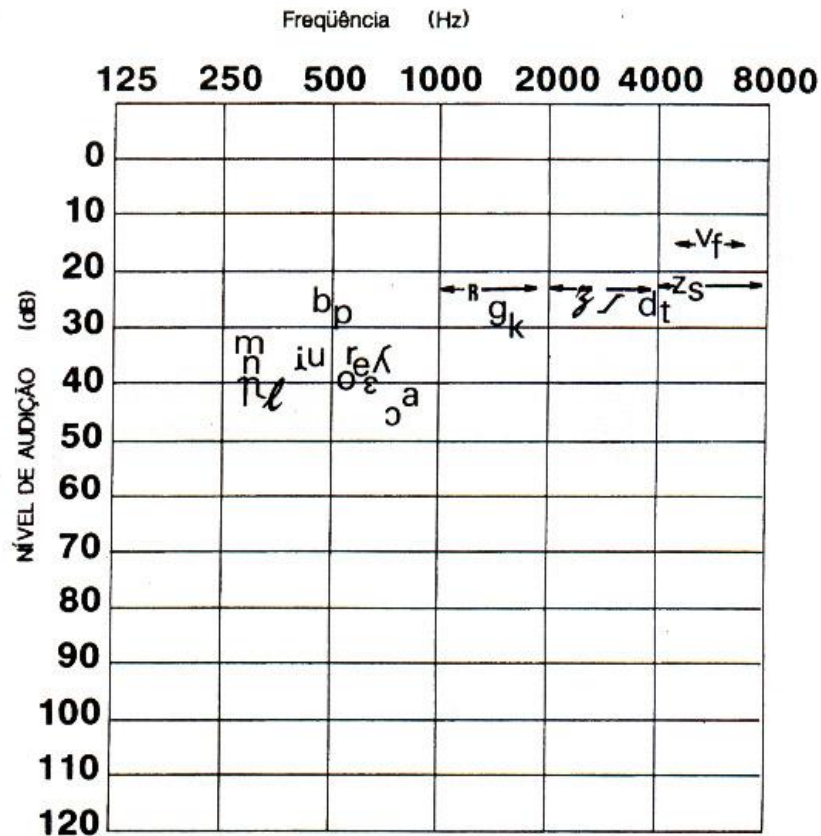


Figura 12 – Valores acústicos médios de frequência e intensidade dos sons da fala do português brasileiro, dispostos no registro gráfico do audiograma.

## Sistema de auxílio à oralização de surdos

### ○ Módulo de vogais

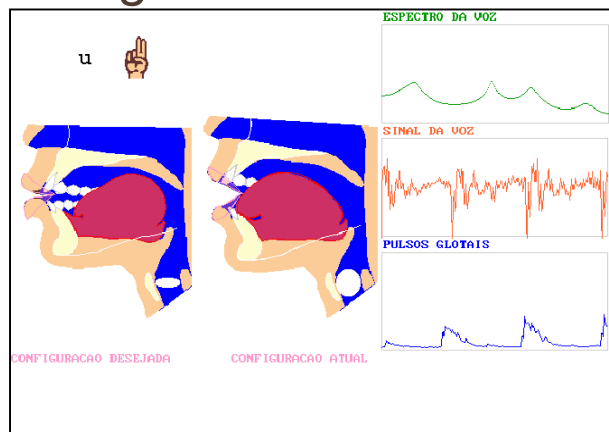


Figura 13- Exemplo de tela do Módulo de Vogais, selecionada para imitação da vogal [u].

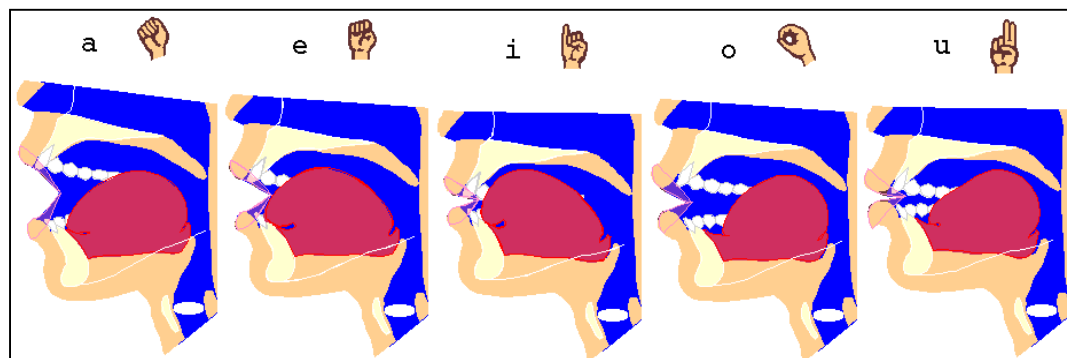


Figura 14 - Configurações para os sons representados no Módulo de Vogais. As letras representam os sons [a], [E], [i], [O] e [u], pois para letras correspondentes a mais de um som optou-se pela representação do som mais aberto (TUJAL, 1998).



## Jogos Computacionais Fonoarticulatórios para Crianças com Deficiência Auditiva

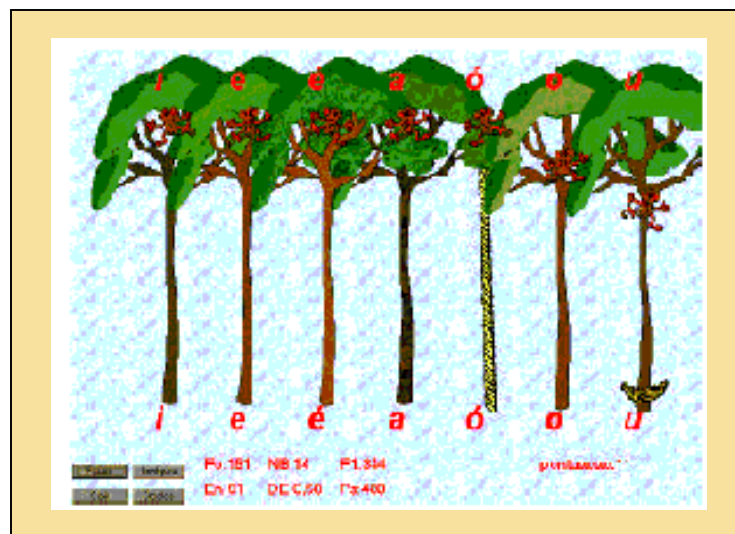


Figura 15 - Tela de um quadro do jogo de vogais (ARAÚJO, 2000).

ARAÚJO, A.M.L. Jogos computacionais fonoarticulatórios para crianças com deficiência auditiva. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2000.

COSTA, S. L. do N. C. Processamento digital de sinais aplicado à oralização de surdos. Projeto de pesquisa - Doutorado. UFCG, Campina Grande. 2004. (trabalho não publicado).

KAY ELEMETRICS, Kay Elemetrics Corp. Disordered Voice Database 1.03 ed. 1994.

RUSSO, I. C. P. & BEHLAU, M. *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*. São Paulo: Lovise, 1993.

TUJAL, P. M. O., Auxílio visual à oralização de surdos, Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1998.

## **Sites relacionados:**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>. Data de acesso: 11/03/2013.