

FABIANA NOGUEIRA GREGIO

**CONFIGURAÇÃO DO TRATO VOCAL SUPRAGLÓTICO NA PRODUÇÃO
DAS VOGAIS DO PORTUGUÊS BRASILEIRO: DADOS DE IMAGENS DE
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

Mestrado em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem
PUC/SP

São Paulo

2006

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação por processos de fotocopiadoras ou eletrônicos.

Assinatura: _____ Local e Data: _____

FABIANA NOGUEIRA GREGIO

**CONFIGURAÇÃO DO TRATO VOCAL SUPRAGLÓTICO NA PRODUÇÃO
DAS VOGAIS DO PORTUGUÊS BRASILEIRO: DADOS DE IMAGENS DE
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem, sob orientação da profa. Doutora Sandra Madureira.

São Paulo

2006

Gregio, Fabiana Nogueira

Configuração do trato vocal supraglótico na produção das vogais do português brasileiro: dados de imagens de ressonância magnética /

Fabiana Nogueira Gregio.—São Paulo, 2006.

xiv, 101f.

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
Programa de Estudos Pós-Graduados em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem.

Título em inglês: Supraglottic vocal tract shaping in the production of brazilian portuguese vowels: data from magnetic resonance imaging.

1. Fala. 2. Imagem por ressonância magnética. 3. Fonética. 4. Cavidade nasal. 5. Fonoaudiologia.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS EM LINGUÍSTICA APLICADA E
ESTUDOS DA LINGUAGEM

Coordenadora do Curso de Pós-graduação: Profa. Dra. Beth Brait

Fabiana Nogueira Gregio

**CONFIGURAÇÃO DO TRATO VOCAL SUPRAGLÓTICO NA PRODUÇÃO
DAS VOGAIS DO PORTUGUÊS BRASILEIRO: DADOS DE IMAGENS DE
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

Presidente da banca: Profa. Dra. _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. _____

Profa. Dra. _____

Aprovada em: ____/____/____

Agradecimentos

À Profa. Dra. Sandra Madureira, por ter me conquistado desde a primeira aula de Fonética e Fonologia durante o primeiro ano da graduação, incentivando-me a percorrer o fascinante universo da Fala. Presença e ensinamentos preciosos.

À Profa. Dra. Zuleica Camargo, excelente profissional, exemplo a ser seguido por todos. Hoje amiga e mestre a quem dedico carinho e admiração. Sua orientação foi essencial para a concretização deste trabalho. Agradeço seu apoio e incentivo ao crescimento profissional.

À Profa. Dra. Aglael Gama-Rossi, pela sempre disponibilidade e entusiasmo fornecendo comentários preciosos. Conhecimentos e memória admiráveis.

Ao Prof. Dr. Cláudio Campi de Castro, por propiciar a realização deste trabalho. Agradeço a confiança e a parceria em abraçar nossos ideais e buscar juntos concretizá-los no campo das Ciências da Fala.

À Profa. Dra. Beatriz de Castro Andrade Mendes, pela atenção, ao mesmo tempo afável e fundamental, em todos os momentos.

Ao Prof. Mário Augusto de Souza Fontes, por acompanhar o desenvolvimento deste projeto e estar presente nos momentos difíceis de sua realização.

Ao Antônio Cesário Monteiro da Cruz Júnior e à Ana Paula Shimizu Chagas, por terem sido peças-chave na coleta dos dados. Sempre disponíveis, pacientes e com bom humor.

À Dra. Irene Queiroz Marchesan, por permitir e incentivar que eu colocasse em prática os conhecimentos adquiridos (da fonética acústico-articulatória) e que muito ainda tenho a adquirir neste campo, bem como por seu incentivo e colaboração neste trabalho.

À fonoaudióloga Lílian Cristina Kuhn Pereira, presença meiga e fundamental. Agradeço a disponibilidade em cooperar.

À fonoaudióloga Sabrina Cukier, com quem compartilhei os momentos árdios e prazerosos do mestrado, trilhando um percurso juntas. Agradeço seus cuidados comigo.

À Emi Murano, por acompanhar, mesmo distante, o desenvolvimento deste trabalho com contribuições essenciais.

Ao Prof. Dr. Maurílio Nunes Vieira, pela cuidadosa e disponível colaboração.

Ao Dr. Edson Amaro, por auxiliar nas questões e incentivar a pesquisa.

À Profa. Marisa Cavalcante, por participar das discussões sempre com contagiante bom humor. Algumas cenas serão inesquecíveis.

Ao Prof. Dr. Jorge Lucero, da Universidade Federal de Brasília, por propiciar contatos durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos Profs. Dr. Joaquim Llisterri, da Universidade de Barcelona e Dr. Plínio Barbosa, da UNICAMP, pela atenção ao discutir o trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudos sobre a Fala, pelas atividades e discussões compartilhadas.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro fornecido para pesquisa.

Ao meu querido pai, que além de pai e dedicado, como se não suficiente, auxiliou-me na edição das imagens durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Edson, hoje meu marido, por aceitar meu gosto pelos estudos, estando ao meu lado sempre.

À minha mãe e minha vó, pela imensa dedicação, preocupando-se e cuidando de mim em todos os momentos. Sou grata pela pessoa que me tornei.

Ao meu querido irmão Gustavo, por quem eu torço e torce por mim. E ao meu querido Winn, pela presença carinhosa e serena.

Aos meus amigos que compreenderam minha ausência e sempre transmitiram apoio.

A todos que, direta ou indiretamente, ajudaram-me para a conclusão do mestrado.

E por último, mas primordial, agradeço à Deus, por permitir a conclusão de mais uma etapa ao redor de pessoas queridas.

Sumário

Agradecimentos	v
Listas	ix
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1. Anatomia e fisiologia das cavidades oral e nasal	05
2.2. Modelos teóricos de produção e percepção de fala	12
2.3. Abordagem fonético-articulatória das vogais	16
2.4. Abordagem fonético-acústica das vogais	21
2.5. Estudos por meio de imagens de ressonância magnética (IRM) aplicados à fala	28
3. MÉTODOS	34
4. RESULTADOS	38
4.1. Dados de IRM referentes às vogais orais do português brasileiro	38
4.2. Dados de IRM referentes às vogais nasais do português brasileiro	49
4.3. Trato vocal supraglótico na ausência de produção sonora	57
4.4. Análise acústica do sinal de fala registrado simultaneamente à captura de IRM para as vogais orais e nasais do português brasileiro	58
5. DISCUSSÃO	60
6. CONCLUSÃO	69
7. ANEXOS	70
8. REFERÊNCIAS	76
Bibliografia consultada	

Lista de figuras

Figura 1.	Representação do trapézio das vogais orais no trato vocal	18
Figura 2.	Espaço acústico das vogais orais do português brasileiro	24
Figura 3.	Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço correspondentes ao trecho estacionário da produção das vogais orais [i](a), [ɨ](b), [e](c) e [a](d)	39
Figura 4.	Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço correspondentes ao trecho estacionário da produção das vogais orais [ɘ](a), [o](b) e [u](c)	40
Figura 5.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [i]	41
Figura 6.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [e]	42
Figura 7.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ɨ]	43
Figura 8.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [a]	44
Figura 9.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ɘ]	45

Figura 10.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [o]	46
Figura 11.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [u]	47
Figura 12.	Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço destacando as três fases encontradas durante produção das vogais nasais [ʔ↓](a) e [ʎ↓](b)	49
Figura 13.	Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço destacando as três fases encontradas durante produção das vogais nasais [ã](a), [õ](b) e [◆↓](c)	50
Figura 14.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ʔ↓]	51
Figura 15.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ʎ↓].....	52
Figura 16.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ã]	53
Figura 17.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [õ]	54
Figura 18.	Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [◆↓]	55
Figura 19.	Quadro de IRM de trecho sem produção de som	57

Figura 20.	Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] - sinal de fala contaminado pelo ruído do equipamento de ressonância magnética	58
Figura 21.	Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] - sinal de fala filtrado na tentativa de eliminação total do ruído	59
Figura 22.	Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] apresentando sinal de fala contaminado pelo ruído – sinal de fala filtrado com eliminação parcial do ruído	59

Lista de tabelas

Tabela 1.	Quantidade de quadros obtidos durante a produção de cada vogal oral do português brasileiro	48
Tabela 2.	Quantidade de quadros obtidos durante a produção de cada vogal nasal do português brasileiro	56

Resumo

Objetivo: Caracterizar a configuração do trato vocal supraglótico na produção das sete vogais orais e cinco nasais do português brasileiro do ponto de vista articulatório por meio de imagens de ressonância magnética (IRM). **Métodos:** Atuou como sujeito da pesquisa, um falante do gênero feminino nativo do português brasileiro, com histórico negativo para alterações de fala, linguagem e dos sistemas neurológico e auditivo e ausência de alterações dentárias e de articuladores. As imagens de ressonância magnética, coletadas durante a produção das vogais sustentadas pelo falante, foram analisadas para caracterização articulatória. Os resultados foram considerados em relação aos dados articulatórios e acústicos pesquisados na literatura. **Resultados e discussão:** As vogais nasais, ao contrário das orais, apresentaram três momentos distintos, caracterizados por mudanças no posicionamento dos articuladores durante sua emissão; enquanto que as vogais orais apresentaram apenas um momento/fase. As vogais orais, quando comparadas com as nasais, mantiveram características semelhantes, sendo classificadas articulatoriamente pelo posicionamento do dorso de língua (no sentido vertical e horizontal), pela abertura da cavidade oral, pelo arredondamento labial e pelo posicionamento do palato mole. As vogais que apresentaram maior modificação, quando comparadas entre suas correspondentes oral e nasal, foram [a]-[ã], [o]-[õ] e [u]-[◀↓]. As vogais nasais revelaram um tempo maior que suas correspondentes orais obtendo um maior número de quadros capturados. **Conclusão:** Os dados obtidos por meio de IRM permitiram analisar os movimentos dos articuladores durante a produção das vogais contribuindo para: ampliação do conhecimento dos mecanismos de produção das vogais do português brasileiro; caracterização do inventário de vogais do português brasileiro; e reflexões na avaliação e reabilitação das alterações de fala.

Abstract

Purpose: To characterize the supraglottic vocal tract shaping in the production of the seven oral and five nasal vowels of Brazilian Portuguese from the articulatory point of view by means of magnetic resonance imaging (MRI). **Methods:** The subject of this study, one female native speaker of Brazilian Portuguese, had no previous alterations of speech, language or of neurological and auditory systems and with neither dental nor articulator alterations. The magnetic resonance images, collected during the production of the vowels sustained by the speaker, were analyzed for articulatory characterization. The results were considered according to articulatory and acoustic data researched in the related literature. **Results and discussion:** The nasal vowels, unlike the oral ones, presented three different moments, which are characterized by changes in the position of the articulators during their production; while the oral vowels presented only one moment/phase. The oral vowels, when compared to the nasal, maintained similar characteristics, being articulatorily classified by the position of their tongue-surface (both vertically and horizontally), by the opening of the oral cavity, by the rounding of the lips and by the position of the soft palate. The vowels that presented the greater differences, when compared to their oral and nasal counterparts, were [a]-[ã], [o]-[õ] and [u]-[u̠]. Production of nasal vowels took a longer time than their oral counterparts yielding a larger number of frames captured. **Conclusion:** Data obtained by means of MRI has allowed the analysis of the movements of the articulators during the production of the vowels contributing to: increasing the knowledge of Brazilian Portuguese vowels production mechanisms; characterizing the Brazilian Portuguese vowels inventory; providing insights to the evaluation and rehabilitation of speech disorders.

1 INTRODUÇÃO

A fala tem sido alvo de interesse de diversos campos do conhecimento, como a Lingüística, a Comunicação e Semiótica, a Engenharia, as Ciências da Computação, a Física, a Matemática, a Medicina e a Fonoaudiologia, todas congregadas em um campo comum – as Ciências da Fala. À Fonoaudiologia coube a missão de avaliar e reabilitar a fala quando esta encontrar-se em estado alterado.

A fala é linguagem e som; ela é o ato motor que expressa a linguagem, de modo que, ter o embasamento teórico da Lingüística passa a ser fundamental para a adequada compreensão de seus mecanismos, tanto em termos de produção como de percepção. Tal conhecimento é essencial na clínica fonoaudiológica.

Estudos que focalizam a produção e/ou a percepção dos sons por falantes em situação normal de fala, isto é, que não apresentam comprometimentos de fala, voz ou linguagem, podem servir de referência para análise desses sons produzidos de modo alterado por falantes com comprometimento. Os resultados de tais estudos podem oferecer subsídios para o aprimoramento da clínica de fala e voz, tanto no que se remete ao diagnóstico como ao tratamento.

Dentre os diversos sons produzidos pelo aparelho fonador, os segmentos vocálicos são relevantes para a inteligibilidade de fala pelo papel que desempenham na veiculação dos aspectos prosódicos, como o acento e a entoação, devido à configuração do trato vocal supraglótico sem constrictões à passagem do fluxo de ar sonorizado na glote.

Do ponto de vista segmental, o português brasileiro apresenta em seu repertório de sons sete segmentos vocálicos orais e cinco nasais, classificados por diferenciados ajustes dos articuladores. No português brasileiro os segmentos vocálicos nasais são tidos como nasalizados ao contrário do francês, que possui segmentos vocálicos nasais puros (Câmara Jr, 1972).

Estudos sobre a descrição dos sons vocálicos são pertinentes para a compreensão dos seus mecanismos de produção e percepção e do papel que exercem no sistema da língua. A literatura fonética recente aponta que as características acústicas e articulatórias são dependentes de língua. Alguns aspectos fonéticos, como, entre outros, o alongamento de vogais antes de sons sonoros, anteriormente descritos como determinados por fatores de ordem fisiológica, são há cerca de uma década, considerados em relação às restrições impostas pelas línguas (Laver, 1994).

Os estudos sobre a produção dos sons vocálicos podem ser efetuados por meio de dados acústicos e articulatórios. Uma das técnicas que tem sido utilizada para obtenção e análise do dado acústico é a análise acústica, por ser uma técnica não-invasiva, na qual se capta o sinal sonoro emitido pela boca do falante sem a inserção de instrumento no trato vocal. Esta técnica permite a avaliação da situação natural de fala em pequenos intervalos de tempo e é, atualmente, um recurso de fácil disponibilidade. Seu emprego tem se concentrado em estudos da produção de fala tanto em situações normais, como, complementar no diagnóstico de alterações de fala e monitoramento do tratamento realizado.

No que se refere à aquisição do dado articulatório, imagens radiológicas estáticas são utilizadas para estudar o trato vocal e a produção dos sons da fala. Devido ao emprego da radiação, novos métodos surgem para evitar a exposição do falante. O desenvolvimento dos estudos e, conseqüentemente, equipamentos de ressonância magnética, tornou possível analisar o trato vocal por meio de imagens de ressonância magnética (IRM), as quais não oferecem riscos à saúde do falante, devido à ausência de radiação, e ainda permitem adequada visualização dos tecidos moles (músculos) envolvidos na produção de fala, pois as imagens radiológicas propiciam melhor definição para ossos. Com o avanço da tecnologia, as imagens podem ser adquiridas de modo a permitir a observação dos movimentos dos articuladores durante a fala.

O uso de IRM para estudos de produção de fala é referido no cenário internacional desde final da década de 80 (Baer et al, 1991), sendo de extrema importância a incorporação de seu uso no cenário nacional do português brasileiro.

Ao contrário da análise acústica e dos métodos radiológicos, a IRM ainda não é tida como um instrumento acessível. Como consequência, encontra-se na literatura nacional estudos sobre a descrição dos padrões acústicos dos segmentos vocálicos e apenas três trabalhos sobre padrões articulatórios, sendo estes feitos à base de imagens de xerorradiografias e cine-radiografia (Pinho et al, 1988; Master et al, 1991; Machado, 1993).

Como os dados acústicos fornecem apenas inferências sobre o posicionamento dos articuladores, faz-se relevante o complemento do dado articulatório fornecido por meio de imagens para a descrição dos segmentos vocálicos. Considerando ainda que, uma descrição acústica-articulatória de tais segmentos é fundamental para avaliação e reabilitação não só destes sons, mas dos demais sons envolvidos no ato da fala, torna-se relevante o desenvolvimento de um estudo que permita a visualização da postura dos articuladores durante a produção de tais segmentos sonoros.

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar as vogais do português brasileiro com o dado articulatório obtido por meio de IRM, de modo que os dados articulatórios obtidos, integrados com os dados acústicos encontrados na revisão da literatura, possibilitassem uma adequada compreensão e caracterização da produção do sistema vocálico do português brasileiro.

Este trabalho apresenta-se organizado nos seguintes capítulos: revisão da literatura; metodologia do trabalho com a descrição dos procedimentos realizados; apresentação dos resultados obtidos incluindo a apresentação dos quadros obtidos por meio de IRM durante a produção das vogais; discussão dos dados encontrados sobre as vogais orais e nasais do português brasileiro, como também a discussão dos procedimentos realizados para obtenção dos dados apontando as dificuldades encontradas e sugestões futuras; e na seqüência, as conclusões.

Este trabalho integra a Linha de Pesquisa Linguagem e Patologias da Linguagem do Departamento de Lingüística da Faculdade de Comunicação e Filosofia (COMFIL) e do Programa de Estudos Pós-Graduados em Lingüística Aplicada e Estudos da Linguagem (LAEL), desenvolvido no Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição (LIAAC) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para investigação do comportamento dos articuladores e, conseqüentemente, refinada caracterização articulatória das vogais, as considerações sobre a neuromotricidade do aparelho fonador devem ser retomadas, uma vez que, subjazem às características articulatórias da vogal, aspectos anatomo-fisiológicos. Os conhecimentos da fisiologia de produção da fala e um embasamento teórico que enfoque a fala como um sistema dinâmico no qual a produção e a percepção se entrelaçam, permeiam as discussões dos resultados encontrados em relação aos dados da literatura fonético-acústico-articulatória da produção das vogais do português brasileiro, propiciando interpretações mais consistentes a cerca de tais segmentos sonoros. Neste sentido, a técnica de imagem por ressonância magnética (IRM) traz, com seu avanço científico, a possibilidade de investigar o movimento dos articuladores durante a produção de fala sem a demanda de exposição à radiação. Tal técnica, configurou-se, neste primeiro momento, como um desafio, uma vez que seu uso é inovador no cenário do português brasileiro.

Em função do exposto acima, o capítulo revisão da literatura foi dividido em tópicos de forma a expressar cada um dos aspectos anteriormente elencados. Primeiramente, apresenta-se uma breve descrição anatomo-fisiológica dos principais articuladores envolvidos na produção dos sons vocálicos orais e nasais. Na seqüência, apresenta-se modelos teóricos de produção de fala, em seguida, estudos com vogais orais e nasais, considerando-se seus aspectos articulatórios e acústicos e, por último, estudos de fala com IRM.

2.1 Anatomia e fisiologia das cavidades oral e nasal

A produção dos sons da fala ocorre por uma adaptação na atividade dos aparelhos respiratório e digestório. O aparelho respiratório participa na produção da fala por meio do controle do fluxo aéreo expiratório, gerando a corrente de ar egressiva que é a base da geração das fontes de ruído e de sonoridade. Em relação aos sons das vogais, permite a sonoridade que é produzida na laringe (vozeamento), especificamente pela vibração da pregas vocais. Já o aparelho digestório contribui com algumas estruturas, na qualidade de articuladores ativos (lábios, língua, mandíbula e palato mole) e passivos (dentes, palato duro e parede posterior da faringe) e de ressoadores (cavidade oral, nasal, faríngea e labial), que modificam o som produzido na glote, sendo possível a articulação de diversos segmentos consonantais e vocálicos.

As vogais diferenciam-se dos demais sons de fala por não promoverem obstrução no trato vocal durante a passagem do fluxo aéreo. São caracterizadas, do ponto de vista articulatorio, pelo posicionamento do palato mole, pelo arredondamento dos lábios e pelo posicionamento do dorso da língua e abertura da cavidade oral. O palato mole, descrito como elevado ou abaixado, diferencia as vogais orais das nasais, respectivamente (Camargo et al, 2000).

O conhecimento detalhado da atividade das estruturas do aparelho fonador, mais especificamente relacionadas à classificação articulatória das vogais, pode facilitar a compreensão dos refinados ajustes responsáveis pelas diversas produções sonoras dos segmentos vocálicos orais e nasais do português brasileiro.

A cavidade nasal é delimitada pelas paredes da pirâmide nasal, estendendo-se ântero-posteriormente das narinas às coanas, comunicando-se posteriormente com a nasofaringe. Constitui-se de estruturas ósseas revestidas por uma espessa mucosa respiratória na qual há três passagens estreitas – meatos inferior, médio e superior – que são espaços delimitados nos quais localizam-se os orifícios de drenagem dos seios paranasais (Costa et al, 1994).

A cavidade nasal desempenha a função de purificar/filtrar, aquecer e umedecer o ar, além da olfação (Costa et al, 1994; Zemlin, 2005). É considerada também uma cavidade de ressonância dos sons da fala e é esse seu aspecto mucoso o responsável pelo amortecimento do som gerado na glote (Stevens, 1998).

As cavidades paranasais são cavidades pneumáticas desenvolvidas nos ossos vizinhos à cavidade nasal, conectadas à cavidade nasal, e são recobertas pela mesma mucosa das fossas nasais. São quatro os seios paranasais (frontais, esfenoidais, etmoidais e maxilares), geralmente ocorridos em pares, não sendo simétricos e mostrando variações individuais (Costa et al, 1994; Kent, 1997), conforme verificado em medidas tridimensionais coletadas por meio de imagens de ressonância magnética para obtenção do volume destas cavidades (Dang et al, 1993). Os seios frontais são os mais distantes das fossas nasais e ligam-se ao meato médio. Os seios esfenoidais drenam diretamente para o meato superior. Os seios etmoidais são um agrupamento de células aéreas que se relacionam ao meato médio e ao superior. Por fim, os seios maxilares, os de maior volume, estão ligados ao meato inferior e, inferiormente, aos alvéolos dentais (Costa et al, 1994).

A principal função dos seios paranasais é a de tornar os ossos do crânio mais leves e permitir o crescimento da face (Costa et al, 1994). Outras funções seriam o fornecimento de muco para a cavidade nasal e a ressonância do som produzido na região glótica (Kent, 1997), sendo esta última ainda discutida (Zemlin, 2005).

O palato é o limite inferior da cavidade nasal e superior da cavidade oral, sendo sua função fazer a separação entre estas duas cavidades. Seus dois primeiros terços são uma estrutura óssea – palato duro – e o terço posterior, uma estrutura flexível (muscular) – palato mole (Daniloff et al, 1980; Costa et al, 1994; Zemlin, 2005).

A forma do palato duro pode variar individualmente e ocupa função na fala como articulador passivo realizando, em atuação com a língua, constrição da cavidade oral (Daniloff et al, 1980).

O palato mole é uma estrutura músculo-fibrosa considerada continuação do palato duro. Caracteriza-se por ser inicialmente suspenso e posteriormente curvada

para baixo e para trás; em posição de repouso, acompanha o contorno do dorso da língua. Sua borda livre denomina-se úvula (Costa et al, 1994; Costa, 2003). A musculatura do palato mole encontra-se relacionada à musculatura da faringe (Daniloff et al, 1980; Zemlin, 2005).

O palato mole constitui-se de cinco músculos: tensor do palato mole (responsável por contrair o palato mole, auxiliando no fechamento, e abertura da tuba auditiva); levantador do palato mole (responsável pela sua elevação e este músculo em atuação com o tensor, levam o palato mole em direção ao contato com a parede posterior da faringe); palatoglosso (responsável pelo seu abaixamento); palatofaríngeo (responsável por estreitar o istmo das fauces – pilares anterior e posterior – e elevar ao mesmo tempo a faringe podendo abaixar o palato mole) e, por fim; da úvula (responsável pela movimentação da úvula levantando-a e encurtando-a) (Costa et al, 1994; Madeira, 1995; Zemlin, 2005). O único músculo intrínseco (que não se liga a nenhuma outra estrutura) do palato mole é o da úvula, os demais são extrínsecos (ligam-se à estruturas adjacentes) (Kent, 1997). O músculo palatoglosso pode tanto abaixar o palato mole como elevar a parte posterior da língua (Costa et al, 1994) e é considerado por alguns autores como músculo da língua ou da faringe, ao invés de ser do palato mole (Daniloff et al, 1980; Zemlin, 2005).

Em relação à inervação de tais músculos, encontra-se divergências na literatura, justificadas, possivelmente, pelo fechamento velofaríngeo atuar diferentemente nas funções de deglutição e fonação, como também, por alguns autores não diferenciarem em seus trabalhos a inervação motora da sensitiva. Assim, a inervação motora é considerada, por alguns autores, como dada pelo plexo faríngeo, o qual engloba fibras dos pares cranianos X e XI (nervos vago e acessório) (Longemann, 1983; Macedo Filho et al, 2000; Douglas, 2002) e, tida por outros como, dada pelo plexo faríngeo no que se refere aos músculos levantador do palato mole, palatoglosso, palatofaríngeo e da úvula e, pelo nervo mandibular, ramo do trigêmeo, no que se refere ao músculo tensor (Groher, 1997; Moore, Dalley, 2001; Costa, 2003).

A abertura velofaríngea é formada pelo posicionamento do palato mole em atuação conjunta com as paredes laterais e posterior da faringe e, dependendo da posição do dorso da língua, uma parte do palato mole pode encostar na língua

(Stevens, 1998; Zemlin, 2005). O palato mole, quando elevado, fecha a região velofaríngea e quando abaixado, tem-se a abertura velofaríngea, caracterizando, respectivamente, em relação à produção dos sons vocálicos, as vogais orais e as vogais nasais (Camargo et al, 2000). Esta abertura é maior quando da produção dos sons nasais em comparação com a posição de repouso durante a respiração (Stevens, 1998).

O mecanismo de abertura velofaríngea sofre influência das características anatômicas individuais, de gênero e de idade (no que se refere ao desenvolvimento). Devido às diferenças anatômicas, o fechamento do esfíncter velofaríngeo pode ser coronal (movimento ântero-posterior do palato mole), sagital (movimento das paredes laterais da faringe), circular (os dois movimentos anteriores simultaneamente) ou circular com anel de *Passavant* (movimentos anteriores acrescido do movimento anterior da parede posterior da faringe). Em relação ao gênero, encontram-se três diferenças, os homens apresentam ângulo agudo; o fechamento ocorre em um nível superior ao palato; e quando fechado, o palato mole apresenta extensão menor. Já nas mulheres, encontra-se um ângulo reto; fechamento em nível inferior ao palato; e extensão maior. A presença de tecido linfóide, especificamente, da tonsila faríngea, em crianças, modifica o funcionamento deste esfíncter (Kent, 1997).

A cavidade oral é uma parte do trato que se inicia nos lábios e termina no istmo das fauces, seu limite com a orofaringe. Constitui-se pelo vestíbulo da boca e pela cavidade oral propriamente dita (Costa et al, 1994; Moore, Dalley, 2001; Zemlin, 2005).

O vestíbulo da boca é delimitado anteriormente pelos lábios e bochechas, posteriormente pela arcada dentária e, seus limites superior e inferior são formados por uma extensão da membrana mucosa dos lábios e das bochechas até as gengivas. A cavidade oral propriamente dita possui como limites anterior e lateral os dentes. Posteriormente, encontra-se ligada à parte oral da faringe; superiormente, está o palato duro e delimitando o limite inferior localiza-se o assoalho da boca. Como estruturas da cavidade oral propriamente dita, encontram-se bochechas, língua, gengivas, dentes, palato duro, assoalho da boca e glândulas salivares (Costa et al, 1994).

As estruturas da cavidade oral participam de diversas funções, tais como, sucção, deglutição, mastigação, salivação, paladar e articulação dos sons da fala. A cavidade oral pode também colaborar na respiração quando esta se encontrar oral (Costa et al, 1994; Zemlin, 2005).

Dentre os articuladores da cavidade oral, destaca-se a língua pela sua ativa movimentação durante a articulação da fala, modificando a configuração do trato vocal supraglótico (Daniloff et al, 1980; Perkell, 1997). Vale, entretanto lembrar, a importância dos dentes como articuladores passivos em alguns sons da fala e da mandíbula, visto que é o único osso móvel do esqueleto craniofacial, movimentando-se durante a produção dos sons da fala concomitantemente ao movimento de lábios e língua, como articulador ativo (Daniloff et al, 1980; Stevens, 1998; Zemlin, 2005), devido à articulação temporomandibular (Kent, 1997). Disfunção nesta articulação pode acarretar alteração na produção da fala (Bianchini, 2000).

A língua é um órgão muscular que pode ser dividida em: face inferior, face dorsal curva, corpo, lâmina, ápice (ponta) e raiz, sendo esta última definida como terço posterior. A face inferior é inserida ao assoalho da boca por uma prega mucosa mediana denominada frênulo da língua. No dorso da língua localiza-se o sulco terminal (em forma de V) dividindo o dorso da língua em 2/3 anteriores pertencentes à cavidade oral e 1/3 posterior pertencente à orofaringe. A raiz da língua é responsável pela sua sustentação e está presa à cartilagem epiglote por três pregas, onde está situada a valécula. A superfície do dorso da língua é de aspecto irregular e aveludado pela presença das papilas valadas, fungiformes, filiformes e as folhadas, estas últimas localizando-se nas laterais (Zemlin, 2005).

Dividindo-se a língua em três áreas – ponta, dorso e raiz, verifica-se um certo grau de independência entre essas áreas, o que torna possível diversas formas e movimentos (Daniloff et al, 1980; Perkell, 1997).

A língua é composta por musculatura intrínseca e extrínseca responsáveis pela definição de sua movimentação e forma (Costa et al, 1994; Zemlin, 2005).

Como parte da musculatura intrínseca encontram-se os músculos longitudinal superior (responsável pela elevação da ponta da língua e pelo canolamento da língua); longitudinal inferior (responsável por virar a ponta da língua para baixo); transverso (responsável pelo estreitamento e alongamento da língua) e; vertical (responsável por afinar e achatar a língua) (Zemlin, 2005). Os músculos longitudinal superior e inferior, em ação conjunta, encurtam a língua. A musculatura intrínseca é, no geral, responsável pela motricidade fina da língua (Kent, 1997), isto é, pela forma da língua configurando um estreitamento ou alargamento (Daniloff et al, 1980).

A musculatura extrínseca da língua sustenta a musculatura intrínseca e engloba os músculos: genioglosso, o qual possui fibras posteriores e anteriores (responsáveis, respectivamente, pela anteriorização da língua ou mesmo sua protrusão e pela retração da língua; a contração de ambas as fibras deprime o dorso da língua); hioglosso (responsável por tracionar a raiz da língua para baixo e para trás); estiloglosso (responsável por retrain e levantar o dorso da língua, auxilia a musculatura intrínseca a realizar a forma de canolamento) e; palatoglosso (responsável por levantar a língua) (Madeira, 1995; Kent, 1997; Zemlin, 2005). Pode-se assim, considerar para movimentar a língua para frente a necessidade de atuação do músculo genioglosso; para baixo a ação do músculo hioglosso; para cima os músculos palatoglosso com auxílio de outros músculos, considerados supra-hióideos, o genio-hióideo e o milo-hióideo; para trás, músculo estiloglosso e; ponta da língua para baixo, músculo geniohiodeo (Douglas, 2002).

Os músculos intrínsecos da língua (longitudinal superior, longitudinal inferior, transverso e vertical) como a maioria dos extrínsecos (estiloglosso, hioglosso e genioglosso) têm sua inervação motora (eferente) dada pelo XII par craniano (nervo hipoglosso) (Machado, 1993; Madeira, 1995; Douglas, 2002). O músculo palatoglosso diferencia-se por ser inervado pelo XI par craniano (nervo acessório), podendo assim ser considerado como músculo do palato mole e não da língua ou faringe (Zemlin, 2005). Por se tratar de um estudo de produção de fala, as informações referentes à inervação sensitiva (aferente) não foram abordadas neste tópico.

Os músculos intrínsecos teriam maior envolvimento na produção das consoantes e os músculos extrínsecos, na produção das vogais (Perkell, 1997; Ladefoged et al, 2002; Zemlin, 2005).

Os segmentos vocálicos são os sons que envolvem menor número de movimentos para sua produção, sendo considerados fundamentais os seguintes movimentos: o movimento ântero-posterior do dorso da língua (mediado principalmente pela parte posterior do músculo genioglosso) e vertical do dorso da língua (mediado pelos músculos estiloglosso e pelo palatoglosso com o músculo longitudinal inferior atuando como sinérgico). Para produção da vogal [i] participa também o músculo longitudinal superior e, para [i] e [e], os músculos transverso e hioglosso (Zemlin, 2005).

Os seguintes músculos também podem estar envolvidos na produção de vogais (Ladefoged et al, 2002):

- músculos orbicular da boca e mental (músculos dos lábios), em ação conjunta promovem o arredondamento dos lábios, como por exemplo na vogal [u];
- músculo bucinador (músculo das bochechas), considerado antagonista nos movimentos de protusão e arredondamento labial, de modo que sua ação retrai os lábios e o ângulo da boca, como por exemplo nas vogais [i] e [e]; o músculo risório (músculos dos lábios) pode estar associado;
- músculo milo-hióideo (músculo supra-hióideo), sua ação eleva dorso da língua, como no caso das vogais altas, sejam anteriores ou posteriores;
- músculo elevador do palato (músculo do palato mole), no caso das vogais nasais.

2.2 Modelos teóricos de produção e percepção de fala

A Fonética e a Fonologia têm sido consideradas como distintas, estando a primeira voltada às propriedades físicas dos sons da fala e a segunda, ao conjunto de representações dos sons distintivos na língua no sistema cognitivo, o que, remeteria, num primeiro momento, apenas esta última à Lingüística.

Na tentativas de relacionar estas duas disciplinas, surgem contribuições relevantes baseadas em modelos auditivos, os quais explicam as modificações do trato vocal para alcançar diferentes alvos auditivos e, em modelos motores, que pressupõem a existência de gestos articulatórios como alternativa aos traços distintivos (Albano, 2001).

Entre as teorias baseadas em modelos auditivos, destacam-se a teoria quântica e a teoria da dispersão. Stevens (1989) considera que as relações entre produção e percepção de fala são de natureza quântica e não linear, em que variações articulatórias são admitidas sem ter como consequência uma mudança auditiva. Esta variação na configuração dos articuladores é possível por existirem regiões no trato vocal consideradas invariantes de modo que, modificações dentro destas áreas não comprometem o sinal auditivo captado pelo ouvinte. Porém, mudanças maiores implicariam num salto quântico, isto é, mudança da qualidade sonora. Esta teoria pode explicar as variações de fala inter-falantes tendo como produção o mesmo som e a questão da percepção do adulto ao categorizar um determinado som de outra língua (e que ele não percebe) dentro de categorias de sua língua materna – embora a percepção envolva outros fatores.

O princípio da economia, ou princípio do mínimo esforço, mostra que o falante pode fazer uma modificação articulatória sem que o ouvinte a perceba. Ou seja, os falantes podem adaptar suas produções sem perder a inteligibilidade do som de fala, como no caso de diferentes taxas de elocução e na fala casual (Lindblom, 1990; Lindblom, 1991). Deste modo, as variações intrafalantes podem ser explicadas.

Em relação às vogais, pode-se pensar nas distâncias extremas como relacionadas às vogais ([i,a,u]), estas consideradas como categorias de qualidade vocálica favorecidas universalmente por serem encontradas em todas as línguas (Ladefoged, Maddieson, 1996), sendo que a gradiência em suas produções se faz pelas variações contínuas nos espaços adjacentes (Lindblom, 1986).

Ao pensar no espaço vocálico, as características sensório-motoras também se fazem presentes, pois os articuladores têm maior mobilidade na região anterior da cavidade oral, região esta rica em estruturas sensitivas, de modo que modificações articulatórias nesta região geram mais mudanças auditivas (Lindblom, 1986).

A teoria proposta por Catherine Browman e Louis Goldstein (1990), conhecida como Fonologia Articulatória, doravante FAR, inova por propor uma unidade mínima de análise alternativa ao segmento e ao traço distintivo. Essa unidade abstrata denomina-se gesto articulatório e caracteriza-se por ser dinâmico. Esse caráter dinâmico, do mesmo modo que mostra a preocupação com a dinâmica da fala, decorre do fato de que, essa unidade de análise, o gesto articulatório, tem extensão temporal (tempo intrínseco).

Baseados no modelo Dinâmica de Tarefa que explica o movimento através da trajetória da tarefa a ser cumprida, Browman e Goldstein (1990) definem o gesto articulatório como uma oscilação que constitui constrições no trato vocal feitas com os movimentos dos articuladores atrelados fisiologicamente entre si. A oscilação deste sistema é explicada por meio de uma equação de um modelo físico massa-mola, na qual os valores de seus parâmetros determinam o alvo, a rigidez, o amortecimento e o deslocamento da variável do trato (mola), de modo que diferentes valores implicam em diferentes movimentos. Esta variável é que define os articuladores envolvidos, ou seja, quais articuladores estarão atrelados para realizar o movimento.

Para a FAR, o léxico é transcrito em pautas gestuais e não em fonemas ou traços distintivos. Na pauta gestual encontram-se os gestos articulatórios de modo linear. Isto é, o léxico é formado por pautas gestuais referentes aos gestos necessários para a produção da palavra. Cabe à dinâmica de tarefa escolher as variáveis do trato (e

consequentemente o conjunto de articuladores que se movimentará) para concretizar os gestos da pauta na fala.

Acrescida à pauta gestual de um dado item lexical, na qual encontram-se os gestos que a compõem, está a camada rítmica, a qual consiste em nós de acento que vinculam-se aos gestos responsáveis por uma sílaba. Desse modo, segmento e suprasegmento aparecem associados, pois, uma vez que o nó de acento modifica a rigidez dos gestos de uma sílaba, tem-se valores diferentes na equação gerando diferenças de acento e ritmo de fala. Ou seja, a vogal tônica apresenta duração (tempo extrínseco – medido no output acústico) maior em comparação com sua correspondente átona. Pela FAR, tal acentuação é explicada como uma diminuição da rigidez da mola (devido à influência da camada rítmica na pauta gestual), levando à deslocamentos mais amplos da mola, resultando em uma trajetória com velocidade menor. Assim, tais trajetórias, geradas pela equação, descrevem como a variável do trato muda no tempo, demonstrando ser este um sistema dinâmico/gradiente capaz de explicar o fenômeno da coarticulação e, consequentemente, as modificações que o gesto sofre na fala.

Para a FAR, mesmo que o gesto articulatório não esteja no *output* acústico, ele não desaparece da pauta gestual, na qual ele se contempla invariável e abstrato. No *output* acústico, o que some é o efeito do gesto, pois para a FAR, o gesto nunca deixou de ser produzido, ele pode ter sido sobreposto por outros gestos em função do acento e da taxa de elocução.

Assim, um modelo teórico que tem o fonema como unidade mínima de análise não é capaz de explicar a dinâmica da fala, uma vez que se trata de uma unidade abstrata, sem tempo intrínseco; não há como explicar a coarticulação a partir de fonemas, os quais se dispõem linearmente.

Albano (2001), ao fazer uma revisão da FAR, propõe mudanças na equação, especificamente, em relação ao que se refere à altura da língua, para explicar adequadamente as vogais e sugere o nome Fonologia Acústico-Articulatória (FAAR) ao recuperar o auditivo e considerar um elo entre ele e o articulatório. Dessa forma, haveria um espaço motor de manobra no trato vocal, recuperando as contribuições de

Lindblom e Stevens sobre a questão do alvo acústico, pois não se pode mover os articuladores, ou melhor, a variante do trato vocal de qualquer modo. Se passar do espaço de manobra de determinado alvo a ser alcançado, o efeito acústico produzido será diferente. Tem-se, aqui nesta proposta, a relação produção e percepção de fala, sendo o gesto articulatório a unidade de análise de ambos os processos, fornecendo explicações tanto do que é gradiente como do que é categórico, ou seja, não separando o físico/fisiológico daquilo que é função do sistema/mental, unindo Fonética e Fonologia dentro da Lingüística.

2.3 Abordagem fonético-articulatória das vogais

Os segmentos vocálicos, dada sua configuração livre à passagem do ar e sonoridade contínua, são responsáveis por carregar a informação prosódica da fala.

Tal como na fala, também na musicalidade, a vogal se destaca como relevante. Com a finalidade de estudar aspectos fonético-acústicos da fala cantada, Medeiros (2002) estudou as vogais orais da fala comparando-as com as do canto e, entre outras conclusões, verificou que as vogais tornam-se alongadas e as consoantes, por sua vez, ocupam duração menor, visto o importante papel das vogais no canto como responsáveis pela entoação e sustentação da nota musical.

As vogais no português brasileiro constituem o núcleo na estrutura de uma sílaba, podendo ser acentuadas ou não. Essa acentuação depende da posição da vogal “na palavra, no sintagma e no enunciado, além de depender da taxa de elocução e da eurrítmia, assim como do registro e estilo usados pelo falante” (Aquino, 1997). A vogal tônica (portadora de acento) apresenta duração mais longa em comparação com a vogal átona (ausência de acento). As vogais átonas podem ser pré-tônicas ou pós-tônicas, ou seja, respectivamente, preceder a vogal tônica ou suceder a vogal tônica (Silva, 2002).

No português brasileiro, há sete vogais orais tônicas /i/, /e/, /ɐ/, /a/, /ɔ/, /o/ e /u/ que se reduzem a cinco quando nasais /ɨ̃/, /ɛ̃/, /ã/, /õ/ e /ɯ̃/. Em posição átona: encontram-se cinco vogais na posição pré-tônica /i,e,a,o,u/, quatro vogais na posição pós-tônica não final /i,e,a,u/ e três vogais na posição pós-tônica final /i,a,u/ (Câmara Jr, 1972; Barbosa, Albano, 2004). Devido às variações dialetais, em algumas regiões geográficas do país, podem ocorrer ainda as vogais [ɐ̃, ɔ̃] em posição pré-tônica (Silva, 2002).

As vogais pós-tônicas encontram-se mais susceptíveis à redução quando comparadas com as pré-tônicas. “As pré-tônicas assemelham-se bastante às tônicas (ambiente prosodicamente fortes) e, portanto, sofrem muito menos reduções e enfraquecimentos” (Aquino, 1997). Ou seja, as pré-tônicas e tônicas não possuem

muitas diferenças entre si. Já entre tônicas e pós-tônicas existem diferenças de duração, como também na configuração das frequências dos formantes. A transcrição fonética pode ser um modo de demonstrar esta ocorrência, visto que usa [a] para representar tônica e pré-tônica, e [⦿] para pós-tônica (Camargo et al, 2000). Porém, enquanto a vogal tônica apresenta-se mais alongada no canto em relação à fala, a vogal pré-tônica apresenta mesma duração em ambas situações (Medeiros, 2002).

A classificação articulatória de cada vogal é definida pela altura da língua, anterioridade da língua, posicionamento dos lábios, grau de abertura da cavidade oral e posicionamento do palato mole (Cabral, 1979; Callou, Leite, 1990; Camargo et al, 2000; Silva, 2002). Sendo assim, as vogais orais e nasais tônicas do português brasileiro são descritas como:

Orais

[i] vogal oral, alta, anterior, não arredondada, fechada;

[e] vogal oral, média-alta, anterior, não arredondada, fechada;

[ɛ] vogal oral, média-baixa, anterior, não arredondada, aberta;

[a] vogal oral, baixa, central, não arredondada, aberta;

[⦿] vogal oral, média-baixa, posterior, arredondada, aberta;

[o] vogal oral, média-alta, posterior, arredondada, fechada;

[u] vogal oral, alta, posterior, arredondada, fechada;

Nasais

[ɲ↓] vogal nasal, média-baixa, anterior, não arredondada, fechada;

[ɣ↓] vogal nasal, alta, anterior, não arredondada, fechada;

[ã] vogal nasal, baixa, central, não arredondada, aberta;

[õ] vogal nasal, média-alta, posterior, arredondada, fechada;

[ɔ̃↓] vogal nasal, alta, posterior, arredondada, fechada (Camargo et al, 2000).

Esta classificação pode ser representada, especificamente no que se refere ao posicionamento da língua e abertura da cavidade oral, pelo trapézio das vogais (figura 1).

Foi verificado, em estudo com a produção de vogais orais do português brasileiro por meio do dado articulatório obtido com o uso de xerorradiografia da cabeça em posição sagital, que a língua interfere na dimensão do trato vocal, principalmente na

cavidade anterior, no entanto, não é o único articulador responsável pela definição de tal dimensão (Pinho et al, 1988).

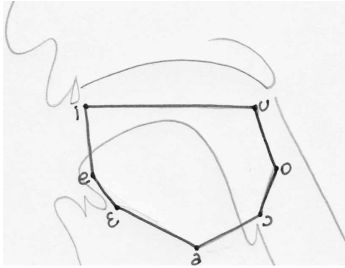


Figura 1 – Representação do trapézio das vogais orais no trato vocal

Para Câmara Jr (1972), a vogal nasal [ã] é levemente posteriorizada enquanto sua correspondente oral é levemente anteriorizada e não central.

Em relação à nasalidade, Câmara Jr (1972) comenta como um “fenômeno fonético à parte” de modo que as vogais nasais seriam como as vogais orais seguidas de um arquifonema consonântico nasal (vogal + /N/), o que o autor considera como uma vogal travada por um elemento nasal (/m, n, ɲ/). Segundo ele, o único argumento que poderia contrariar a existência deste elemento consonântico nasal seria a percepção auditiva dos ouvintes/falantes, os quais identificam auditivamente uma nasalização e não uma consoante.

No português brasileiro, diferentemente do francês, no qual a vogal nasal tem status de fonema, não há contraste entre vogal nasalizada e vogal seguida de consoante nasal (para exemplificar, o autor cita /bõ/ escrito como *bon* e /bon/ escrito como *bonne*) de modo que não existe no português brasileiro vogal nasal pura e sim vogal oral seguida por elemento nasal (Câmara Jr, 1972).

No português brasileiro encontra-se vogal oral, vogal nasal (vogal oral + /N/ e não vogal nasal pura) e vogal nasalizada. A vogal nasalizada seria um alofone da vogal oral quando esta estiver seguida de consoante nasal em posição inicial de sílaba, o que nasaliza a vogal oral, considerada anterior (Câmara Jr, 1972; Silva, 2002). Por exemplo, “fada”, “fanta” e “fama”, respectivamente.

Pontes (1972) tentou questionar a existência desta alofonia ao discordar das explicações de Câmara Jr e defender a existência do contraste entre vogal oral e vogal nasal seguidas de consoante nasal. A autora fez tal afirmação baseando-se na pronúncia do seguinte exemplo: “caminha” do verbo “caminhar” sendo produzido como vogal oral e “caminha” diminutivo de “cama” produzido como vogal nasal.

Porém, tal exemplo pode ser considerado uma alofonia, pois a variante alofônica tem preferências por dialetos. Assim, encontram-se falantes de regiões outras do país pronunciando “caminha” do verbo “caminhar” tal como “caminha” de “cama”, isto é, pronunciando “caminha” do verbo “caminhar” como vogal nasal. Em relação aos dialetos, há uma preferência da nasalidade naqueles da região nordeste, seguido pelos dos estados de RJ, MG, ES, sendo baixa esta preferência nos estados da região sul (Silva, 2002).

Deste modo, diferencia-se no português brasileiro, nasalidade de nasalização (Silva, 2002), ou ainda, como encontrado em alguns estudos, nasalização decorrente de características fisiológicas do palato mole e nasalização vocálica propriamente dita, respectivamente (Souza, 1994). Lembrando que, a nasalização, que é a nasalização vocálica propriamente dita, é considerada por Câmara Jr (1972) como sendo no português brasileiro uma vogal oral seguida de elemento consonântico nasal e não uma vogal nasal pura.

Dentre as vogais, a vogal [ã] seria a que tem a qualidade nasal mais perceptível auditivamente devido à modificação do trato vocal (Silva, 2002), o que é coerente com Câmara Jr (1972) que aponta para uma mudança de posição da língua nesta vogal quando nasal. Trabalhos com o dado articulatório confirmam tal mudança de postura da língua (Master et al, 1991; Machado, 1993).

Master et al (1991), ao estudarem as vogais nasais do português brasileiro, usando xerorradiografias da cabeça em posição sagital, em comparação com as vogais orais estudadas pela mesma técnica e pelo mesmo falante por Pinho et al (1988), verificaram que a vogal [ã] foi a que mais se modificou e a [ɶ] que menos se modificou em relação as suas respectivas correspondentes orais. Os autores

consideraram que as vogais posteriores sofreram mais alterações que as anteriores por necessitarem de mais ajustes motores para se tornarem nasais. O volume do trato vocal apresentou-se diferente entre vogais orais e nasais, encontrando-se maior nas nasais, porém com mais constrição nas áreas anterior e posterior da cavidade oral. Correspondências de tais achados articulatórios não foram feitas com estudos acústicos com padrão de formantes.

Machado (1993) também encontrou modificações na postura do trato vocal em relação às vogais orais e nasais. Com o uso da cine-radiografia, a autora gravou a produção de vogais nasais e suas correspondentes orais inseridas em sentença-veículo, de um falante. A autora verificou que o parâmetro altura do dorso de língua não é suficiente para determinar a qualidade fonética das vogais, sendo o grau de abertura da cavidade faríngea um importante parâmetro, inclusive o responsável por diferenciar [ɰ↓] de [ɱ↓]. Quanto ao posicionamento dos lábios, as vogais orais anteriores apresentaram menor retração labial em comparação com suas correspondentes nasais e nas vogais orais posteriores, o grau de arredondamento labial foi determinante para diferenciar as vogais posteriores, caracterizando [a] em relação à [ɔ] e [ã] em relação à [õ]. A abertura velofaríngea apresentou-se maior em [ã] e menor em [ɰ↓] e o abaixamento do palato mole foi maior em [ã] seguido por [ɱ↓], [õ], [ɔ↓] e [ɰ↓]. A autora, além de caracterizar a configuração do trato vocal, apontou dados sobre o fenômeno da nasalização e, embora não tenha fornecido uma explicação teórica, comentou a existência de um segmento consonântico nas vogais nasais, porém, tal segmento poderia estar ausente quando as nasais se encontrassem em posição final diante de pausa. Foi verificado também duração maior nas vogais orais em comparação as suas correspondentes orais.

2.4 Abordagem fonético-acústica das vogais

Com base na teoria acústica da produção da fala, que descreve os eventos acústicos no aparelho fonador, a onda da fala é considerada como o resultado do sistema de filtro atuando ao longo do trato vocal, em resposta à ação de uma ou mais fontes sonoras (fonte de voz, fonte de ruído contínuo e fonte de ruído transiente)¹.

Os segmentos vocálicos possuem fonte de sonoridade contínua e trato vocal supraglótico sem obstrução à passagem do ar. A qualidade sonora de cada segmento vocálico passa a ser dependente da conformação das cavidades supraglóticas, as quais geram freqüências de ressonância denominadas formantes. O padrão de formantes de cada vogal é definido pela referida conformação, caracterizado pelas freqüências de ressonância do trato vocal (Camargo et al, 2000; Hayward, 2000). As freqüências do primeiro formante (F1) e do segundo formante (F2) seriam as principais determinantes da qualidade fonética de uma vogal. A (bi)dimensão F1xF2 é mais conhecida e usada que a (tri)dimensão F1xF2xF3; contudo, seriam os três primeiros formantes importantes para identificação das vogais (Kent, Read, 1992). Por relacionarem-se diretamente à conformação do trato vocal, as vogais são descritas pelas diversas posturas que o trato vocal assume (Kent, Read, 1992; Hayward, 2000; Johnson, 2003).

Lindblom e Sundberg (1971), ao estudarem por meio de raio-x lateral, os efeitos acústicos derivados dos movimentos dos articuladores durante a fala, mais especificamente, na produção das vogais, verificaram a relação da mandíbula (conseqüentemente, da altura de língua) com a freqüência do F1, da língua com F2, da cavidade faríngea com F3 e da laringe influenciando todos os formantes.

A freqüência da primeira ressonância do trato vocal – primeiro formante (F1) – relaciona-se com o deslocamento da língua no plano vertical (altura da língua), isto é, com a abertura da mandíbula, e o segundo formante (F2) varia conforme o avanço e recuo da língua no plano horizontal. O terceiro formante (F3) está relacionado ao grau

¹ Modelo Fonte e Filtro, integrante da Teoria Acústica de Produção da Fala (Fant, 1970), é explicado detalhadamente em Camargo (1999).

de obstrução formado entre língua e faringe e o quarto formante (F4) à posição vertical da laringe. A postura dos lábios influi nas freqüências de ressonância do trato, uma vez que, ao encontrarem-se arredondados, há um aumento do tamanho do tubo e, em conseqüência, uma diminuição das freqüências dos formantes (Fant, 1973; Kent, Read, 1992).

As vogais posteriores são consideradas mais difíceis de analisar que as anteriores, por apresentarem proximidade das freqüências dos dois primeiros formantes e, em alguns casos, ausência do terceiro formante (Kent, Read, 1992).

Se por um lado as vogais orais e consoantes fricativas são mais fáceis de analisar, as consoantes plosivas e vogais nasais são mais complexas (Johnson, 2003). As vogais nasais são acústica e perceptivamente mais complexas que as orais, o que poderia justificar, quando presentes na língua, uma freqüência de ocorrência menor que suas correspondentes orais (Johnson, 2003).

Quando se tem o palato mole abaixado, há o acoplamento do trato nasal ao trato oral, mas o resultado acústico não se dá simplesmente pela somatória das freqüências de ressonância dos tratos oral e nasal e sim pela interação das ressonâncias mediadas pelos diversos graus de abertura velofaríngea (Souza, 1994). Vale comentar que os efeitos acústicos são menores nas consoantes nasais que nas vogais nasais devido à obstrução do trato oral nas primeiras (Souza, 1994; Johnson, 2003). Neste caso, surgem as freqüências dos anti-formantes (opostas às freqüências dos formantes, sendo as anti-ressonâncias do trato vocal) nas proximidades da freqüência do formante, diminuindo a amplitude destes como resultado de perda de energia pela bifurcação do trato vocal em oral e nasal, sendo a largura de banda relacionada ao amortecimento (Kent, Read, 1992).

Quanto mais tecido mole tiver a cavidade de ressonância, mais absorvidas serão algumas freqüências produzidas pela vibração das pregas vocais. Como as paredes do trato nasal são constituídas por tecidos moles (Costa et al, 1994), há um amortecimento gerado pela perda de energia com a abertura para o trato nasal. Conseqüentemente, as energias difundem-se nas freqüências próximas, resultando num pico com menor intensidade e alargado, encontrando-se a largura de banda dos

formantes mais larga nos sons nasais quando comparados aos orais (House, Stevens, 1956; Pickett, 1991; Johnson, 2003).

As amplitudes diminuem pela presença dos anti-formantes, isto é, este acoplamento do trato nasal também gera ressonâncias e picos de anti-ressonâncias (ressonância negativa) no trato. As freqüências das anti-ressonâncias (anti-formantes) são dependentes do grau de abertura velofaríngea. Assim, encontra-se na região de F1 a presença de um formante de baixa freqüência (formante nasal) e um anti-formante. Como a freqüência do anti-formante aumenta conforme aumenta o grau de abertura velofaríngea, o anti-formante pode anular o formante nasal quando há um alto grau de abertura velofaríngea (House, Stevens, 1956; Pickett, 1991; Johnson, 2003).

Pode-se ainda encontrar, na região de F1, freqüências de ressonância das cavidades dos seios paranasais (Hawkins, Stevens, 1985) e o efeito decorrente da abertura velofaríngea pode ser encontrado também na região de formantes mais altos (Baken, Daniloff, 1991; Pickett, 1991). Desta forma, as vogais nasais são caracterizadas acusticamente pela presença de formante nasal de baixa freqüência e um anti-formante na região do primeiro formante oral, sendo a amplitude dos formantes menor nas vogais nasais, em relação às orais, devido ao amortecimento da energia.

Os formantes, decorrentes das ressonâncias do trato vocal, também sofrem influência de aspectos anatômicos individuais. As características estruturais do trato vocal, como forma, tamanho, densidade e tensão do tecido mole, interferem na qualidade sonora. Como o trato vocal supraglótico possui dimensões peculiares que variam de acordo com cada perfil facial (curto, médio ou longo) (Bianchini, 2000) e sua extensão varia em crianças, homens e mulheres (Stevens, 1998), há uma tendência para que indivíduos com face longa apresentem um deslocamento da freqüência dos formantes em direção aos graves, e o oposto ocorra nos indivíduos com face curta (Oliveira, Pinho, 2001). Diferença de valores das freqüências dos formantes para crianças, mulheres e homens é verificada, embora os formantes apresentem distribuição poligonal, semelhante ao que acontece em outras línguas (Behlau et al, 1988), pois quanto mais longo o trato vocal, mais baixas são as freqüências de ressonância (Kent, Read, 1992).

A distribuição poligonal, dada pela média dos valores das freqüências de F1 e de F2 de cada vogal, forma o chamado “trapézio acústico” (figura 2), o qual representa a descrição fonético-acústica das vogais de uma língua (Delgado Martins, 1988). Nota-se que ocorre uma redução do trapézio acústico de tônica para átona, estando estas últimas mais centralizadas (Delgado Martins, 1988), o que está em acordo com Câmara Jr (1972) que define a posição átona como aquela que apresenta redução de fonemas. As vogais tônicas e pós-tônicas diferenciam-se tanto pelo parâmetro acústico de duração, como pelo padrão de formantes (Aquino, 1997).

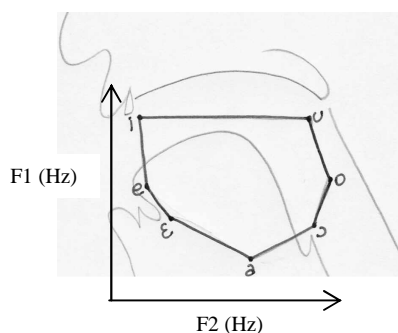


Figura 2 – Espaço acústico das vogais orais do português brasileiro

Além da acentuação, as freqüências dos formantes dos segmentos vocálicos podem ser influenciadas pelo contexto fonético (coarticulação) e pela velocidade da emissão (Figueiredo, 1994), como por exemplo, a consoante sonora alongar a vogal que a precede (Aquino, 1997). Ao estudar as vogais tônicas e pós-tônicas por meio de medidas de freqüência de F1, F2, F3, F4 e duração, Aquino (1997) verifica que a consoante precedente interfere mais na vogal pós-tônica e pouco na tônica, ou seja, na primeira há interferências na duração e em todos os formantes e, na segunda, há interferências apenas na duração e em F3.

Figueiredo (1994), ao realizar medidas de freqüência dos formantes para identificação de falantes, verificou, no que concerne às vogais, o uso desta medida como eficiente na identificação de falantes. O autor relatou que as freqüências de F2 apresentaram menor variação mostrando ser este o formante responsável na qualidade da vogal, enquanto F1 pode variar inter-falantes devido à sua relação com as

diferenças anatômicas individuais de extensão do trato vocal. Já em F3 e F4, o autor encontrou pouca relação com a vogal, principalmente F4. Uma observação se faz ao mostrar que o único falante que apresentou variação nos valores de F4 estava em estado gripal. O trapézio acústico das vogais encontrou-se encolhido na produção de fala com taxa de elocução alta (fala rápida) e a justificativa se deu pelo *undershoot*, em que o gesto articulatório perde a amplitude e não alcança o alvo (Lindblom, 1990; Lindblom, 1991), uma vez que a fala acelerada leva à postura dos articuladores menos precisa e menos extrema. Nesta taxa de elocução, encontrou-se também aumento da amplitude em todos os formantes, como consequência de um esforço vocal e, aumento de F4 como decorrente da elevação da laringe e uma postura mais tensa. Porém, dependendo do grau do esforço vocal, pode-se ter alterações em alguns movimentos articulatórios alterando por sua vez, os formantes.

Mendes (2003), ao estudar a relação produção e percepção de fala de um sujeito deficiente auditivo em comparação com um falante/ouvinte controle, encontrou, no que concerne à produção, o trapézio acústico mais disperso e com sobreposições nas vogais posteriores, indicando menor controle e precisão dos movimentos articulatórios na fala do deficiente auditivo.

O trapézio acústico também se encontrou reduzido nas vogais produzidas em situação de canto, decorrente da implementação de diferentes ajustes do trato vocal para tal situação, em comparação com a fala habitual (Medeiros, 2002).

As vogais também foram alvo de um estudo na área da engenharia com o objetivo de padronizar medidas de formantes para concretização de jogos computacionais como auxiliares no trabalho fonoaudiológico com crianças deficientes auditivas (Araújo, 2000). O autor fez uso das medidas de frequência de F1 e, ao invés das de F2, utilizou uma medida matemática, pois, baseando-se em outro estudo, verificou uma superposição nos valores de F2 entre vogais, provavelmente relacionados à posição dos articuladores e comprimento do trato vocal, os quais têm influências individuais.

O primeiro estudo encontrado na literatura (Behlau et al, 1988) que procura padronizar as medidas de formantes e, conseqüentemente, caracterizar as vogais orais e nasais do português brasileiro, tendo como referência gravações de crianças,

homens e mulheres do dialeto de São Paulo encontrou resultados semelhantes aos dados obtidos da literatura para outras línguas. Os achados indicaram mudança nos valores da vogal [a] comparada com sua correspondente nasal; definições mais comprometidas para vogais nasais e para vogais posteriores; diferenças individuais, e trapézio acústico semelhante aos de outras línguas.

Nota-se que Behlau et al (1988) e Araújo (2000) foram os únicos trabalhos encontrados na literatura que realizaram medidas de frequências de formantes em crianças falantes do português brasileiro.

Souza (1994), ao caracterizar as consoantes nasais e vogais nasais do português brasileiro por meio de dados acústicos da fala, forneceu explicação para o aumento da duração nas vogais nasais encontrado também por Machado (1993). Antes, considerou-se relevante apontar os resultados encontrados em seu estudo, especificamente, no que se refere às vogais: maior duração da sílaba que contém a vogal nasal e não somente maior duração da vogal nasal, em comparação com vogais orais. As vogais [ɰ↓, õ] podem variar em termos de abertura de boca sem mudar sua qualidade sonora. E encontrou três fases distintas existentes nas vogais nasais, uma fase oral, uma fase nasal e um murmúrio nasal. O murmúrio nasal não apresentou sinais acústicos de um ponto de articulação consonântico, de modo que a autora comentou que este dado deve ser melhor investigado, pois se confirmado, descarta a hipótese de Câmara Jr (1972) sobre ser a vogal nasal uma vogal travada por um elemento consonântico. A autora atribuiu, naquele momento, o murmúrio como sendo uma coarticulação pertencente à vogal nasal e, ainda, comenta que o aumento da duração encontrada nas nasais se deu devido à existência deste murmúrio nelas. O murmúrio foi encontrado anterior tanto a consoantes plosivas como a fricativas; porém, as vogais nasais em contexto com fricativas não foram objeto do seu estudo, sendo sugeridas novas pesquisas.

Como padrão de formantes, Souza (1994) verificou elevação de F2 e F3 nas vogais anteriores e diminuição de F2 nas posteriores quando comparados com suas correspondentes orais; F3 e F4 influenciados pela abertura velofaríngea; diminuição da intensidade por conta do amortecimento sendo que este se fez maior em F3 e F4, na fase do murmúrio nasal; F1 e F2 apresentaram-se próximos nas vogais posteriores

assim como nas suas correspondentes orais; e, como verificou Figueiredo (1994), a análise tanto de vogais nasais como orais mostrou-se eficiente na identificação de falantes por meio de correlações com ajustes individuais.

Alguns trabalhos investigaram os padrões das frequências dos formantes dos segmentos vocálicos para verificar: ajustes supralaríngeos e laríngeos, caracterizando a qualidade vocal em disfonias (Camargo, 2002); mobilidade de língua na fala de sujeitos com alterações de fala (Camargo et al, 2004); e altura do dorso de língua em sujeitos com diagnóstico de respiração oral (Gregio et al, 2005). E outros trabalhos, embora não tivessem como foco o posicionamento dos articuladores investigando-os por meio de medidas de formantes, estudaram características fonético-acústicas dos segmentos vocálicos, tais como, a aquisição da duração no português brasileiro, englobando os segmentos consonantais e vocálicos por meio de comparação entre fala adulta e infantil (Gama-Rossi,1999) e, as regras de pronúncia (fonotaxe) das vogais não acentuadas no português brasileiro, a fim de facilitar o ensino desta língua para falantes estrangeiros (Bello-Bisson, 2001).

2.5 Estudos por meio de imagens de ressonância magnética (IRM) aplicados à fala

Anteriormente aos trabalhos que utilizaram ressonância magnética, considerou-se importante apontar os trabalhos que estudaram as vogais do português brasileiro enquanto dado articulatório por meio de outros métodos que não IRM.

Os trabalhos de Pinho et al (1988) e de Master et al (1991), buscaram, por meio de imagens e exposição de um falante à radiação, obter informações sobre a conformação do aparelho fonador durante a produção de vogais orais e nasais do português brasileiro, respectivamente. Ambos os trabalhos utilizaram-se de apenas uma imagem radiográfica para a análise de cada vogal, todas em contexto isolado e em emissão sustentada para um mesmo falante.

Machado (1993) realizou um trabalho sobre as vogais nasais do português brasileiro por meio de filmes cine-radiográficos, tendo sincronizado as imagens radiológicas ao som correspondente. Para tal tarefa, foi coletada a amostra de fala de um falante. Embora este estudo tenha abordado o português brasileiro, a coleta de dados não foi realizada no Brasil.

Em outras línguas, foram desenvolvidos diversos trabalhos tais os de Pinho et al (1988), Master et al (1991) e Machado (1993); entretanto, destacou-se acima apenas os realizados com o português brasileiro, visto que tais técnicas não foram o foco deste estudo.

Os estudos sobre o fenômeno da ressonância magnética nuclear surgiram em 1946 com os cientistas Felix Bloch e Edward Purcell quem receberam prêmio Nobel alguns anos depois. Na década de 80, após contribuições importantes realizadas na década de 70, como as dos pesquisadores Paul Lauterbur e Peter Mansfield, ganhadores do prêmio Nobel em 2003, os primeiros equipamentos de ressonância magnética começaram a ser utilizados na medicina (Hornack, 1996). Desde então, estudos e avanços tecnológicos continuam sendo realizados.

A aquisição da imagem na ressonância magnética é um processo resultante da resposta dos prótons existentes nos núcleos do átomo de hidrogênio mediante a uma energia eletromagnética de radiofrequência específica que ocorre quando o indivíduo é posicionado dentro de um campo magnético. Isto é, o corpo humano é constituído por aproximadamente dois terços de água, sendo que cada molécula de água possui átomos de oxigênio e hidrogênio. O núcleo do átomo de hidrogênio possui uma propriedade que, quando exposta a um campo magnético forte, alinha-se numa determinada posição em relação a este campo magnético externo e retorna à posição inicial quando as ondas de radiofrequência do campo magnético cessam, funcionando semelhantemente a um ímã. Durante esse processo, os núcleos absorvem e emitem uma certa energia que varia de acordo com cada tecido, o que gera uma frequência de ressonância resultando posteriormente, por meio de um processo complexo, em uma imagem (Baer et al, 1991; Hornack, 1996; Stone, 1997).

Devido as suas características, a ressonância magnética é considerada um método não-invasivo, sem riscos à saúde e fornece imagens com boa resolução de contraste entre tecidos moles (Tessler, 2000).

Com o advento desta técnica, abrem-se possibilidades no campo de estudos sobre a fala, pois a IRM permite a produção de imagens em vários planos e cortes, no mesmo intervalo de tempo, dos principais articuladores envolvidos no ato de fala, por meio de imagens refinadas, não-invasivas e sem exposição à radiação. Estas são as grandes vantagens do uso desta técnica ao invés do raio-x. Porém, desvantagens existem, como o ruído gerado pelo equipamento de ressonância magnética e a baixa velocidade de aquisição das imagens, além de baixa resolução para imagens de dentes e ossos (Baer et al, 1991, Story et al, 1996).

Há ainda uma desvantagem, no que se refere à posição deitada para aquisição das imagens, durante a produção de fala, em que ocorreria um deslocamento posterior da língua, diminuindo o espaço faríngeo devido ao efeito da gravidade (Engwall, 2003). Há argumentos também sobre ser, a produção em emissão sustentada, hiperarticulada (sobrearticulada) (Engwall, 2003).

Alguns estudos mostraram que o efeito da gravidade, tanto na língua como no palato mole, é insignificante nos estudos de geometria do trato vocal (Demolin et al, 2003). A claustrofobia e ansiedade também são citadas como desvantagens para o exame de ressonância magnética (Stone, 1997; Arcuri, McGuire, 2001).

É imprescindível apontar que, devido ao campo magnético, pessoas com marcapasso, cliques cirúrgicos, implantes metálicos ou outro objeto metálico não podem se submeter ao exame (Stone, 1997).

O uso de IRM para estudo de produção de fala deu-se entre o final da década de 80 e início da de 90, difundindo-se em meados de 90. Um dos primeiros trabalhos encontrados na literatura foi o de Baer et al (1991) que mostrou vantagens no uso desta técnica até então nova nos estudos com fala e é referência dos estudos que se seguiram por ter sido o primeiro a reconstruir o trato vocal tridimensionalmente. Segundo os autores, anterior ao trabalho deles, somente três trabalhos com ressonância magnética foram referidos, sendo que nenhum dos três extraiu medidas em três planos (coronal, axial e sagital) do trato vocal. Para reconstrução tridimensional das imagens do trato vocal, tiveram como sujeitos dois falantes do inglês do gênero masculino e realizaram dois experimentos com equipamentos diferentes. No primeiro, durante a fase inicial do estudo, foi necessário, para adquirir as imagens para uma dada configuração do trato, cerca de 3 a 4 horas e duas ou mais sessões. Era solicitado aos sujeitos produzirem vogais sustentadas por 15 segundos, em seguida respirar, mais 15 segundos e assim por diante até 3.4 minutos, tempo necessário para aquisição das imagens. No segundo experimento, usaram outro equipamento com configurações diferentes, sendo necessários 30 minutos para aquisição das imagens de uma dada configuração do trato vocal. Os autores descreveram detalhadamente a metodologia empregada no estudo e destacaram a necessidade de se considerar a fadiga do falante.

Outros trabalhos surgiram sobre a descrição de áreas funcionais do trato vocal utilizando um modelo tridimensional com imagens estáticas (Dang et al, 1993; Story et al, 1996; Story et al, 1998) e, desde então, diversos estudos em outras línguas têm sido realizados sobre a produção de fala por meio de IRM (Di Girolamo et al, 1996; Shadle et al, 1996; Badin et al, 1998; Engwall, Badin, 1999; Yang, 1999; Engwall, 2000;

Engwall, Badin, 2000; Gick et al, 2000; Badin et al, 2002). Primeiramente obtinham-se imagens estáticas e, com o desenvolvimento dos estudos, imagens em tempo real, as quais permitem a observação dos movimentos dos articuladores (Demolin et al, 1997; Mohammad et al, 1997; Demolin et al, 2000; Narayanan et al; 2004). Os estudos com IRM, com o avanço da tecnologia, tiveram aumento do tempo de aquisição da imagem, sendo, os mais recentes, 4 imagens/segundo (Demolin et al, 2000) e 8 a 9 imagens/segundo, estas últimas reconstruídas por algumas técnicas, passando para 20-24 imagens/segundo (Narayanan et al, 2004).

Atualmente alguns autores têm descrito o uso da técnica de IRM, voltada inicialmente para o processamento de imagens cardíacas (*tagging*), para analisar a fala coarticulada, como também os músculos da língua envolvidos, sendo este um avanço em relação às técnicas anteriores (Masaki et al, 1999; Stone et al, 2001; Shimada et al, 2002; Narayanan et al, 2004; NessAiver et al, 2006).

A IRM aplicada à fala iniciou com estudos sobre medidas, volumes e modelos tridimensionais do trato vocal. Na seqüência, outros estudos com IRM surgiram para estudar a fala encadeada e os efeitos da coarticulação e outros para obter avanços na técnica de modo a permitir gravações de fala com melhor qualidade. Para cumprir tais objetivos, usam emissões de vogais ou trechos de fala encadeada. Neste aspecto, há trabalhos que fazem uso de técnicas e *softwares* específicos na tentativa de aumentar a velocidade de aquisição da imagem permitindo melhor observação dos articuladores envolvidos na produção de fala e há trabalhos que abordam tentativas de eliminar o ruído gerado do equipamento de ressonância magnética e garantir um sinal de fala sem interferências, por meio do uso de microfone óptico (NessAiver, 2006). Há ainda estudos com IRM sobre alterações de fala, como em situação de reconstrução cirúrgica da língua e glossectomia (Mády et al, 2001; Mády et al, 2002) e, estudos que abordam segmentos consonantais (Narayanan et al, 1995; Narayanan et al, 1997; Alwan et al, 1997; Jackson et al, 2000). No entanto, como as vogais nasais não ocorrem em todas as línguas (Ladefoged, Maddieson, 1996), estudos por meio de IRM que abordam as vogais orais em relação às nasais encontram-se em menor número².

² No IV Congresso Internacional da ABRALIN e XVII Instituto Brasileiro de Linguística em 2005 foi apresentada uma comunicação sobre um estudo em andamento no qual vogais orais e nasais foram gravadas por meio de IRM

Em um estudo sobre abertura velofaríngea, foi realizada emissão de vogais nasais sustentadas por um falante do gênero feminino e outro masculino, falantes do francês, sendo a resolução temporal foi de 1.3 imagens/segundo. Foram utilizados para análise um modelo tridimensional e *softwares* desenvolvidos para estudos da aorta. Como resultado, encontraram que nas vogais anteriores o dorso da língua não encosta nem no palato mole nem na úvula; nas posteriores, o dorso de língua encosta no palato mole e, quanto mais posterior a vogal, maior o contato entre o véu e o dorso da língua. Em comparação com as vogais orais, as nasais apresentaram maior constrição faríngea com dorso de língua mais retraído que as orais e a maior modificação se deu nos pares [a]-[ã] e [ɔ]-[ɔ↓]. Os autores confirmaram as hipóteses encontradas em estudo feito por eles anteriormente, no qual sugere-se que o abaixamento do palato mole, a posteriorização da língua e a labialização seriam um só ajuste articulatorio complexo da produção das vogais nasais. Sobre os ajustes labiais, os autores não conseguiram concluir algo, devido ao baixo contraste nas imagens (Demolin et al, 1998).

Em trabalho sobre medidas da abertura do palato mole para as vogais nasais do francês, verificou-se, por meio de IRM, menor abertura velofaríngea quando comparada aos dados obtidos por meios acústicos (Demolin et al, 2003). Estudos sobre o funcionamento da abertura velofaríngea por meio de IRM têm despertado interesse, visto a difícil observação desta região por meio de outras técnicas e, conseqüentemente as implicações de tais estudos em situações de disfunção velofaríngea, o que afeta a produção de diversos segmentos sonoros da fala (Wein et al, 1991; Yamawaki et al, 1997; Vadodaria et al, 2000).

No campo dos estudos sobre Fala, como já comentado acima, as técnicas de ressonância magnética que têm sido utilizadas são ressonância magnética estática e a ressonância magnética em tempo real (*real time*). Trabalhos recentes começaram a utilizar a técnica *tagging*. A primeira técnica foi bastante utilizada nos estudos iniciais permitindo obter imagens estáticas e extrair medidas do volume das cavidades do trato o reconstruindo tridimensionalmente. Já a ressonância magnética em tempo

com o intuito de, posteriormente, defender a existência de vogais nasais, além das vogais nasalizadas existentes no português brasileiro. Tais gravações foram coletadas fora do Brasil (Raposo, Demolin, 2005).

real possibilita observar os movimentos dos articuladores, sendo tal técnica utilizada nesta pesquisa sobre vogais.

Na literatura pesquisada, não há estudos por meio de IRM sobre a produção das vogais orais e nasais do português brasileiro.

3 MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, selecionou-se um indivíduo do gênero feminino, com 22 anos de idade, habitante da cidade de São Paulo (nascida em Salvador-BA, tendo se mudado para Santos-SP aos 17 anos de idade e no ano seguinte, para São Paulo-SP), falante do português brasileiro e sem histórico de bilingüismo na família. A escolha por esta faixa etária considerou a necessidade de exclusão da fase de crescimento ósseo-muscular e de menopausa, devido às possíveis mudanças fisiológicas no aparelho fonador ocorridas em extremos superiores e inferiores de idade.

Os critérios de inclusão foram: apresentar histórico negativo de comprometimento de fala, de linguagem e neurológico e ausência de antecedentes e/ou queixas auditivas. Tais dados foram obtidos por meio de perguntas objetivas durante sessão de entrevista (anexo 1).

A fim de excluir alterações que pudessem interferir na qualidade de produção de fala, o indivíduo passou por triagem fonoaudiológica realizada por uma fonoaudióloga especialista em Motricidade Oral. O referido procedimento revelou ausência de alteração miofuncional, que comprometesse as funções orofaciais e, conseqüentemente a fala, e tendência à face longa, tendo o sujeito contemplado os critérios de inclusão.

A coleta de dados referentes aos aspectos articulatórios incluiu a realização de exames de ressonância magnética na Seção de Ressonância Magnética do Instituto do Coração da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InCor/FMUSP), o qual congrega pesquisadores em parceria com os estudos desenvolvidos no Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (LIAAC-PUC/SP) – Grupo de Estudos sobre a Fala (CNPq).

As imagens de ressonância magnética foram adquiridas no equipamento da General Electric Signa 1.5T, na seguinte configuração: bobina cervical neuromuscular, posição supino, *patient entry head*, *3 plan loc*, *slice thickness* 8.0, *FOV* 30.0, *bandwidth*

125, TE min 1,4, *Flip angle* 30, TR 7.1, *Echotrain length* 4, freq 128, *phase* 128, *nex* 1.0, freq de direção Si, *phase FOV* 0,75, *auto center freq water*, *auto shim* ligado, mecanismo de supressão de gordura. O exame consistiu em adquirir quatro séries de imagens do trato vocal supraglótico durante período de produção de fala. A duração de cada série foi 17 segundos, o que forneceu um total de 100 quadros (imagens), sendo a velocidade de aquisição de 5,8 imagens/segundo.

Para melhorar a imagem e diminuir os movimentos da cabeça, o indivíduo teve sua cabeça fixada com ataduras. Vale lembrar que, neste exame, o indivíduo permanece deitado em decúbito dorsal e, quando posicionado adequadamente dentro da unidade de ressonância magnética, deu-se início ao protocolo de gravação, o qual constou da emissão sustentada das vogais orais ([a, ɐ, e, i, ɔ, u]) e nasais ([ã, ɲ↓, ɣ↓, õ, ɰ↓]) do português brasileiro, tendo sido realizado treino prévio. O indivíduo era orientado por meio de um intercomunicador e, quando ele dizia estar pronto para falar, o técnico iniciava o escaneamento das imagens do trato vocal supraglótico. Caso a produção não ficasse adequada ou mesmo ocorresse alguma interferência técnica, o indivíduo era orientado a produzir novamente a mesma série de vogais. Evitou-se um tempo prolongado de gravação a fim de evitar fadiga física e vocal.

A produção das vogais se deu em quatro séries, cada uma com uma seqüência de 4 vogais: [a ã ɐ ɔ – e ɲ↓ o õ – i ɣ↓ u ɰ↓] e uma última série, sem produção de fala em que o sujeito se manteve em silêncio.

Simultaneamente ao início do escaneamento das imagens, era também iniciada, por um outro técnico, a gravação do sinal de audio. O sinal de audio era captado pelo microfone de eletreto WM61-A *Panasonic*, o qual estava alinhado à boca do sujeito e fixado, na bobina, com fita crepe, para melhor captura do sinal, por ser tal microfone unidirecional. O sinal captado pelo microfone foi processado pelo *software Cool Edit* versão 2.0 e digitalizado em mono na freqüência de amostragem de 44100 Hz, 16 bits. Vale mencionar que junto com o sinal de fala foi também captado o ruído da unidade de ressonância magnética no mesmo sinal acústico. A série em silêncio foi necessária para filtragem posterior do sinal de audio, de modo a eliminar o ruído deste sinal.

As imagens de ressonância magnética coletadas foram copiadas e armazenadas em cd de dados no formato *jpeg* e o sinal de fala coletado foi copiado e armazenado em um outro cd de dados em formato *wav*.

Para extrair do sinal acústico o ruído do equipamento de ressonância magnética, o qual foi captado pelo microfone junto com o sinal de fala, as amostras de fala das vogais orais e nasais foram filtradas no *software Cool Edit*, por meio da ferramenta *noise reduction*, extraindo a curva do ruído. Tal procedimento possibilitou a filtragem parcial do ruído. As amostras de fala coletadas também foram filtradas por engenheiros da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), os quais trabalham com sinais de fala e voz, na tentativa de eliminar todo o ruído do sinal de fala. Tal filtragem eliminou o ruído, porém corrompeu o sinal de fala, pois o equipamento de ressonância magnética tem frequências próximas à da fala. As amostras de fala coletadas foram inspecionadas por meio do programa de análise acústica *PRAAT* (www.praat.org).

Diante do exposto acima, optou-se, para criar um vídeo sincronizando o sinal de fala às imagens de ressonância magnética, utilizar o sinal de fala com a filtragem parcial do ruído, uma vez que ocorreriam perdas de frequências de ressonância importantes para identificação das vogais, o que comprometeria a identidade auditiva da vogal.

O vídeo foi criado por meio de um *software* de edição de vídeo, *Pinnacle Studio Plus 9.0*, da *Pinnacle Systems*, de modo a permitir a descrição dos correlatos articulatórios das vogais orais e nasais do português brasileiro. As imagens de ressonância magnética utilizadas foram feitas em plano sagital. A perfeita sincronização não foi possível devido à resolução temporal durante a aquisição das imagens, a qual, no presente trabalho, foi em torno de 5,8 quadros/segundo. Para cada vogal foi editado um vídeo, de modo que as imagens foram reconstruídas e colocadas em movimento simultaneamente ao sinal acústico.

Para análise do dado articulatório obtido, utilizou-se dos vídeos editados e das imagens de ressonância magnética posicionadas quadro-a-quadro. Num primeiro momento, eram identificadas as estruturas anatômicas do trato vocal supraglótico e, se necessário, para facilitar a observação, faziam-se ajustes no contraste da imagem.

Para caracterizar o posicionamento dos articuladores, algumas imagens foram impressas e nelas, foram realizados traçados manuais (anexo 2). Assim, as imagens foram comparadas entre si e ao longo da produção, sendo descritas as características fisiológicas do trato vocal supraglótico durante a emissão das vogais orais e nasais do português brasileiro, tais como, posição do dorso da língua, palato mole, lábios e mandíbula, esta última responsável pela abertura da cavidade oral.

Posteriormente, os achados foram discutidos com os dados da revisão da literatura referentes às descrições articulatórias e acústicas dos sons vocálicos do português brasileiro.

Este projeto foi submetido ao Comitê de Ética da PUC/SP (protocolo 029/2005) e o indivíduo somente foi avaliado após informação e consentimento por escrito, seguindo os preceitos éticos de pesquisa envolvendo seres humanos, conforme resolução 196 do Conselho Nacional de Saúde (anexos 3 e 4).

4 RESULTADOS

Os resultados referentes aos dados de IRM e do sinal de fala apresentam-se subdivididos em itens 4.1 ao 4.4, nos quais são apresentadas as configurações do trato vocal supraglótico, por meio de IRM, para as vogais orais e nasais do português brasileiro; as imagens do trato vocal supraglótico na ausência de produção sonora; e a análise do sinal acústico correspondente.

4.1 Dados de IRM referentes às vogais orais do português brasileiro

Foi possível observar uma trajetória similar para todas as vogais do grupo oral, em que os articuladores partiam da postura de repouso em direção à postura requerida para determinada qualidade vocálica e, em seguida, novamente para o repouso, marcando o encerramento da emissão da vogal. O trecho compreendido entre os períodos de repouso foi designado de trecho estacionário da vogal, o qual revela a configuração do trato vocal supraglótico para a produção das vogais orais.

Nas figuras 3 e 4 são apresentados quadros característicos da parte estável (período estacionário) de cada vogal oral do português brasileiro.

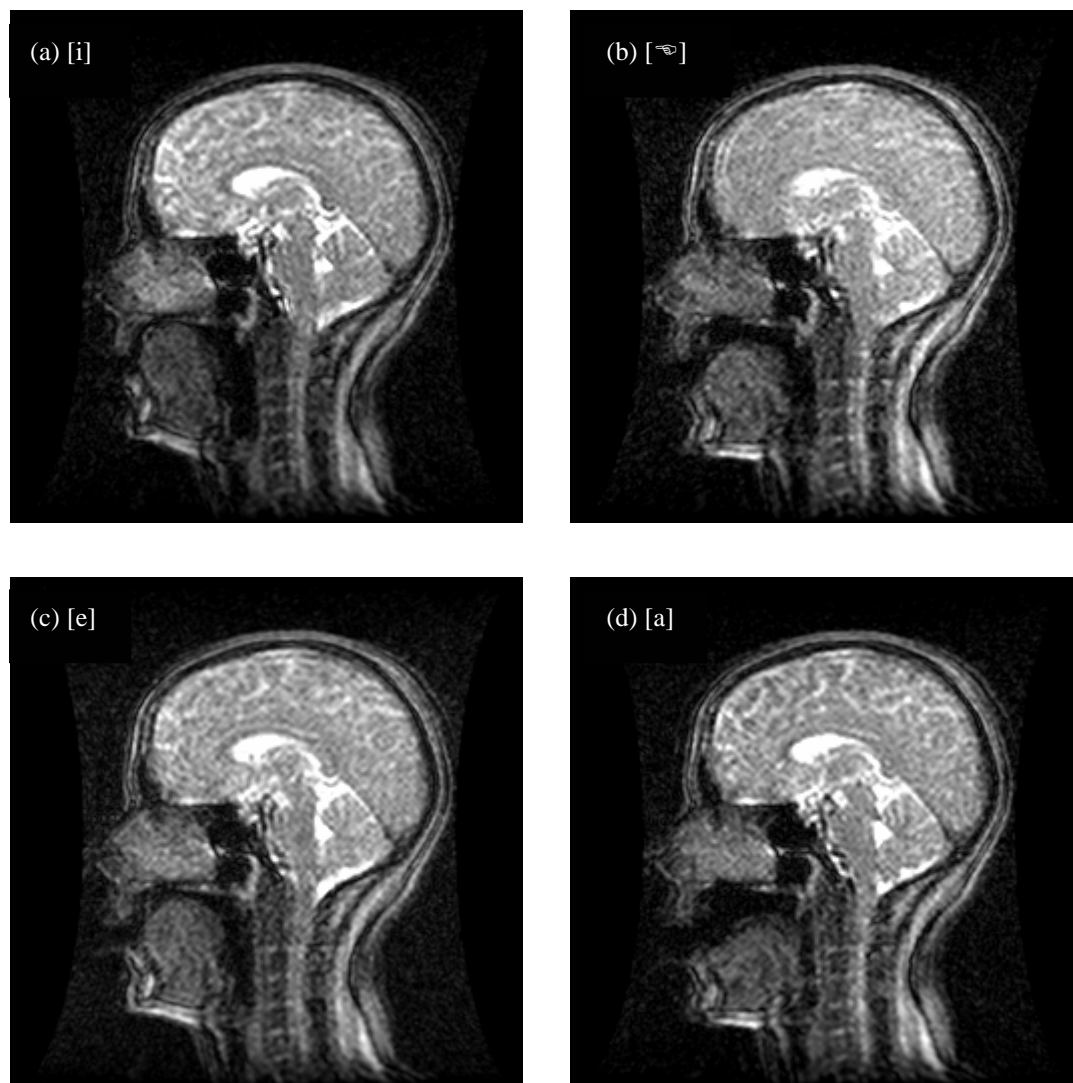


Figura 3. Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço correspondentes ao trecho estacionário da produção das vogais orais [i](a), [ɨ](b), [e](c) e [a](d)

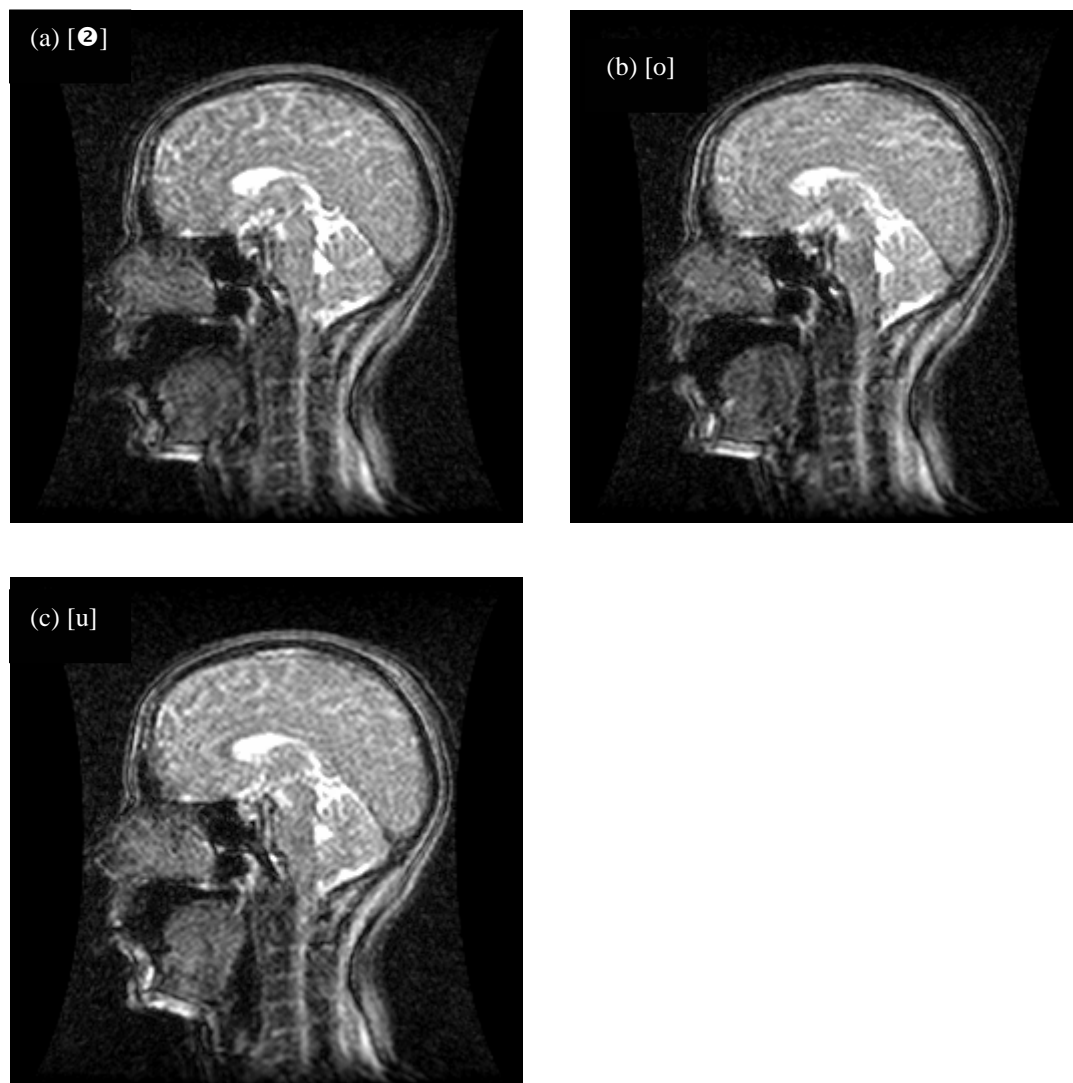


Figura 4. Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço correspondentes ao trecho estacionário da produção das vogais orais [e](a), [o](b) e [u](c)

A seqüência completa dos quadros registrados ao longo da emissão de cada vogal oral são apresentados nas figuras 5 a 11.

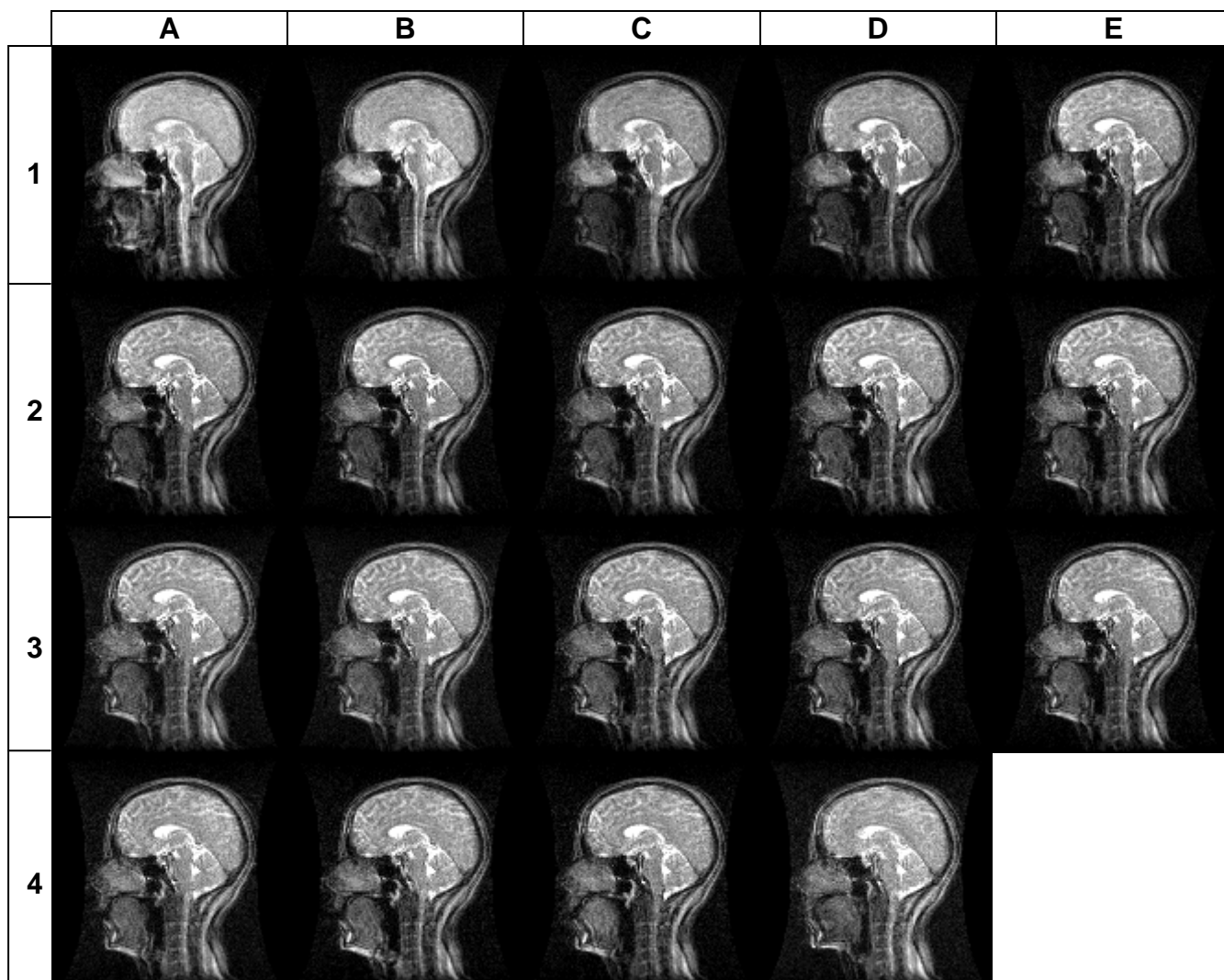


Figura 5. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [i]

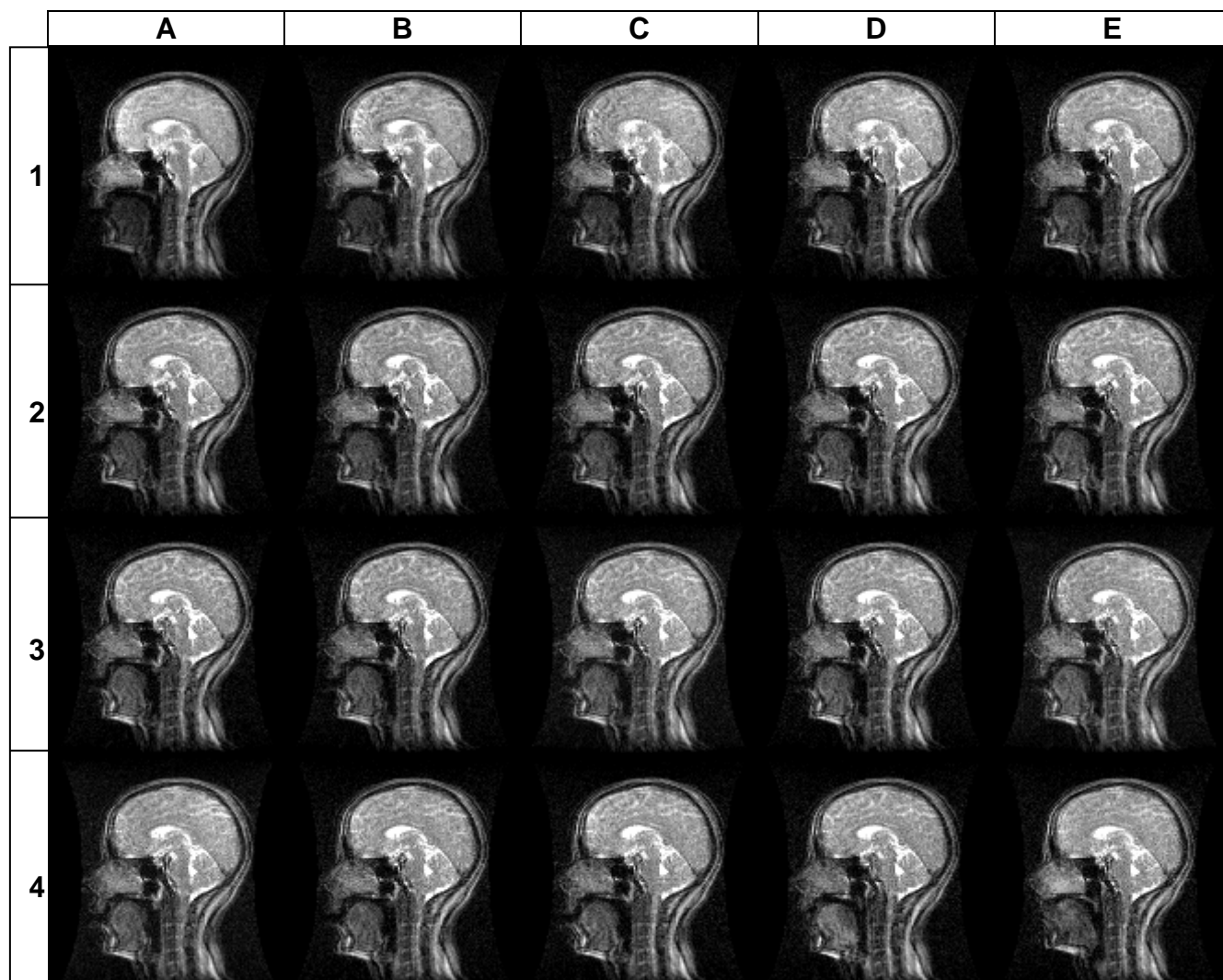


Figura 6. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [e]

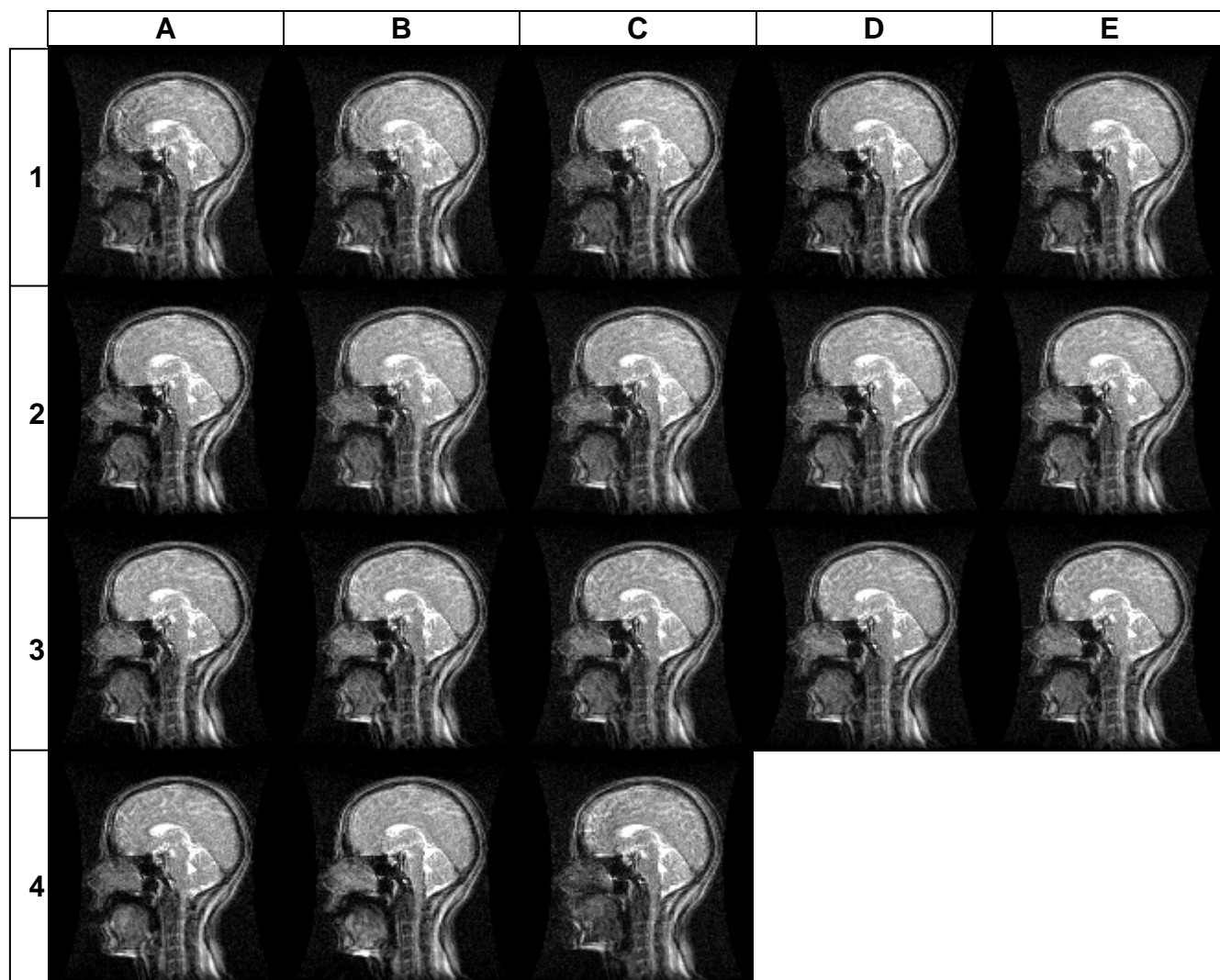


Figura 7. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [e]

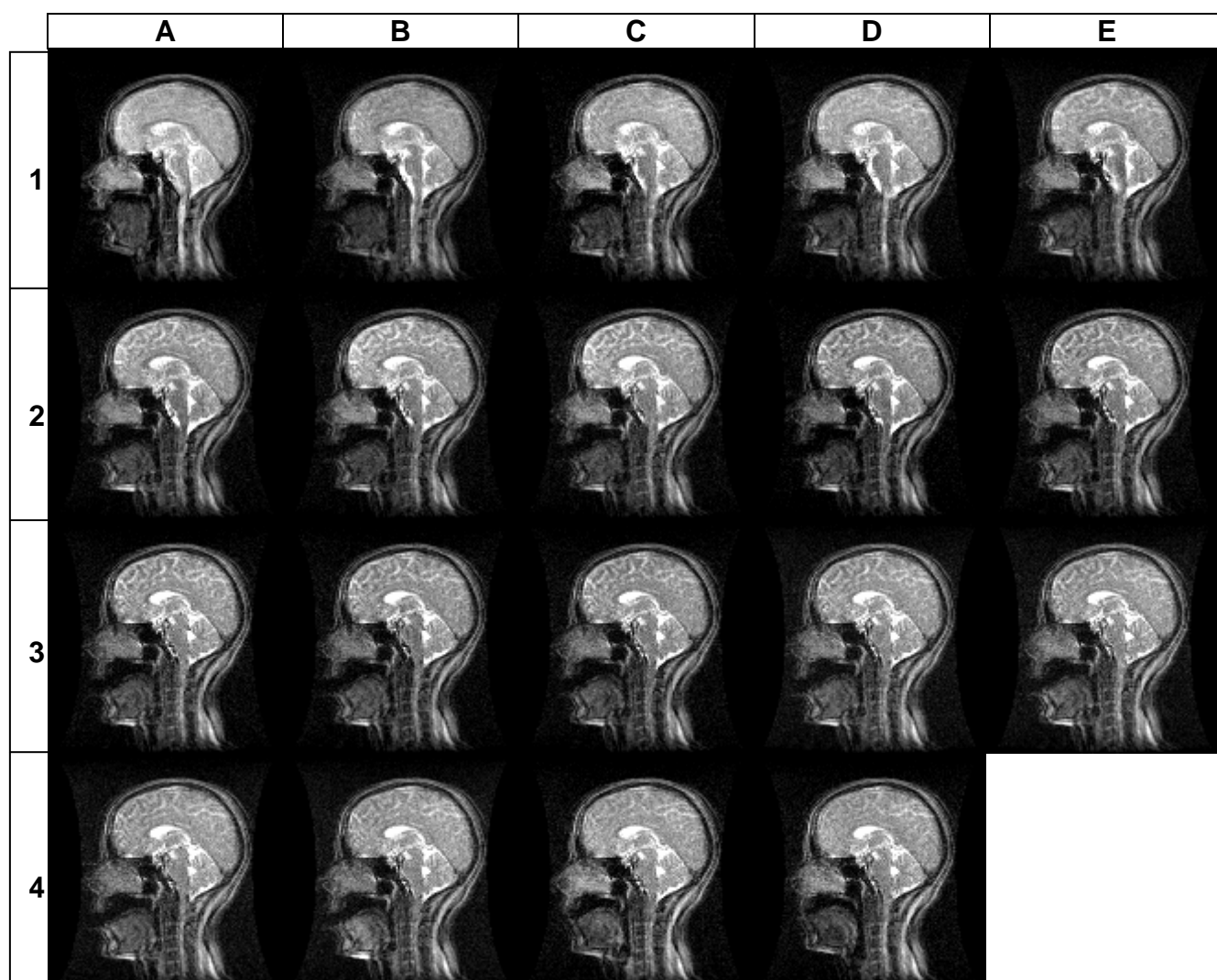


Figura 8. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [a]

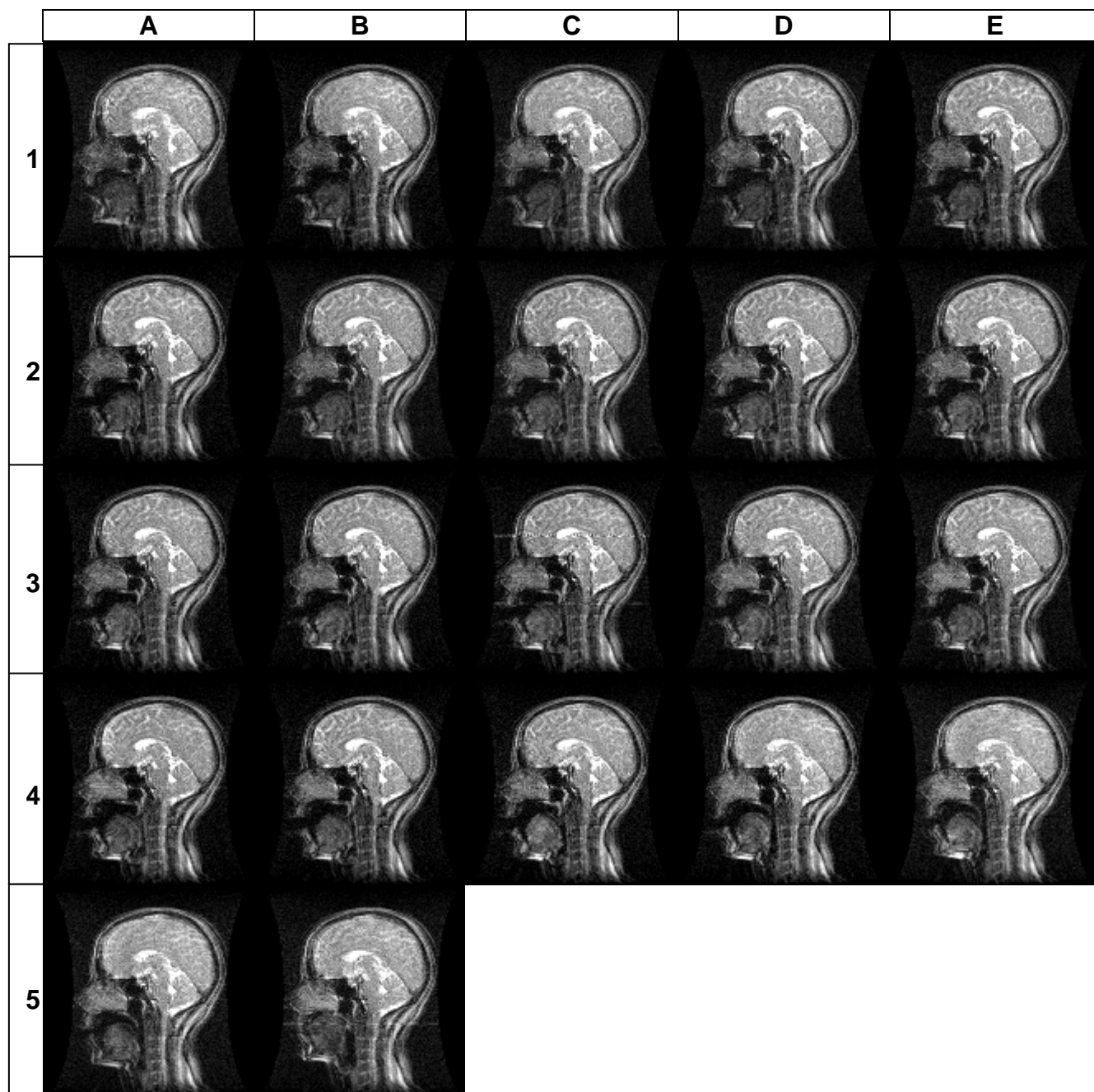


Figura 9. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pesçoço da produção da vogal [e]

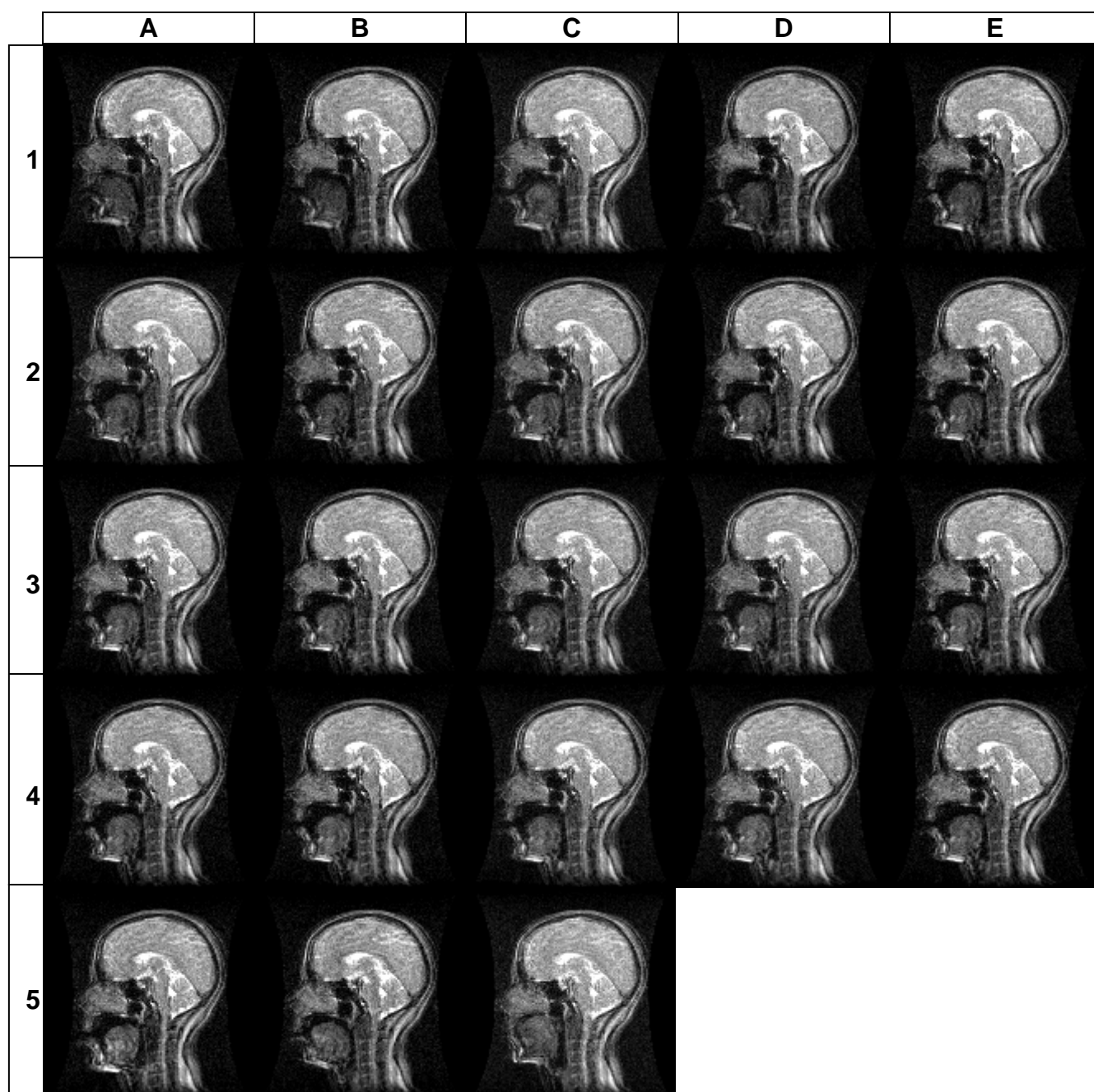


Figura 10. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [o]

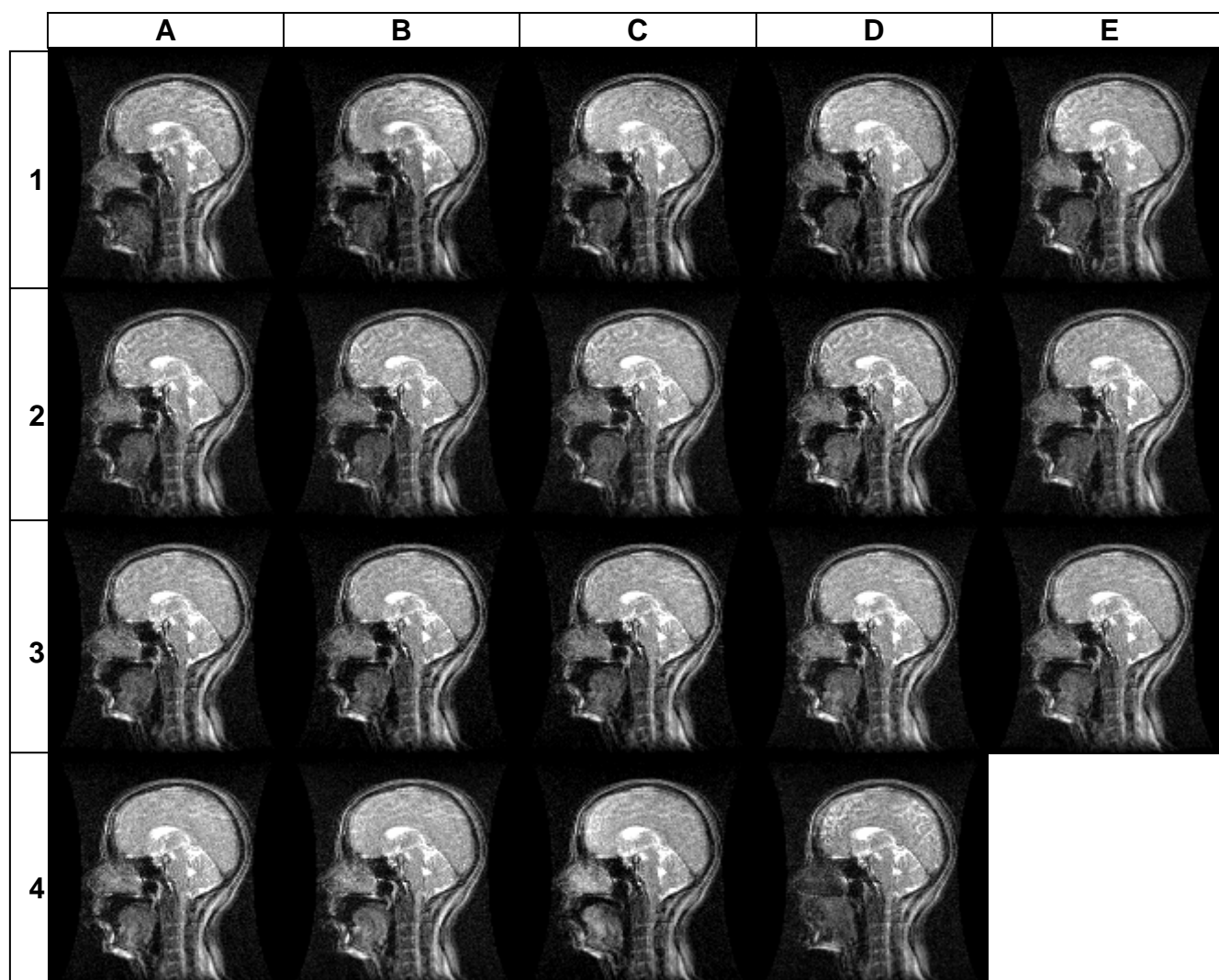


Figura 11. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [u]

Na Tabela 1 é apresentado o número de quadros registrados para cada uma das vogais orais durante a emissão sustentada.

Tabela 1. QUANTIDADE DE QUADROS OBTIDOS DURANTE A PRODUÇÃO DE CADA VOGAL ORAL DO PORTUGUÊS BRASILEIRO

Vogais orais	
[i]	19
[e]	20
[ɛ]	18
[a]	19
[ɐ]	22
[o]	23
[u]	19
média	20

4.2 Dados de IRM referentes às vogais nasais do português brasileiro

Os registros de IRM da produção das vogais nasais apresentaram uma característica diferente das vogais orais, na medida em que apresentaram três fases distintas marcadas por modificações no posicionamento dos articuladores (especialmente dorso de língua e palato mole), além dos períodos de repouso tidos como momento inicial e final da emissão. Tais dados encontram-se ilustrados nas figuras 12 e 13, com relação à apresentação de trechos característicos, respectivamente denominados de fase oral, fase nasal e fase nasal com movimentação de língua.

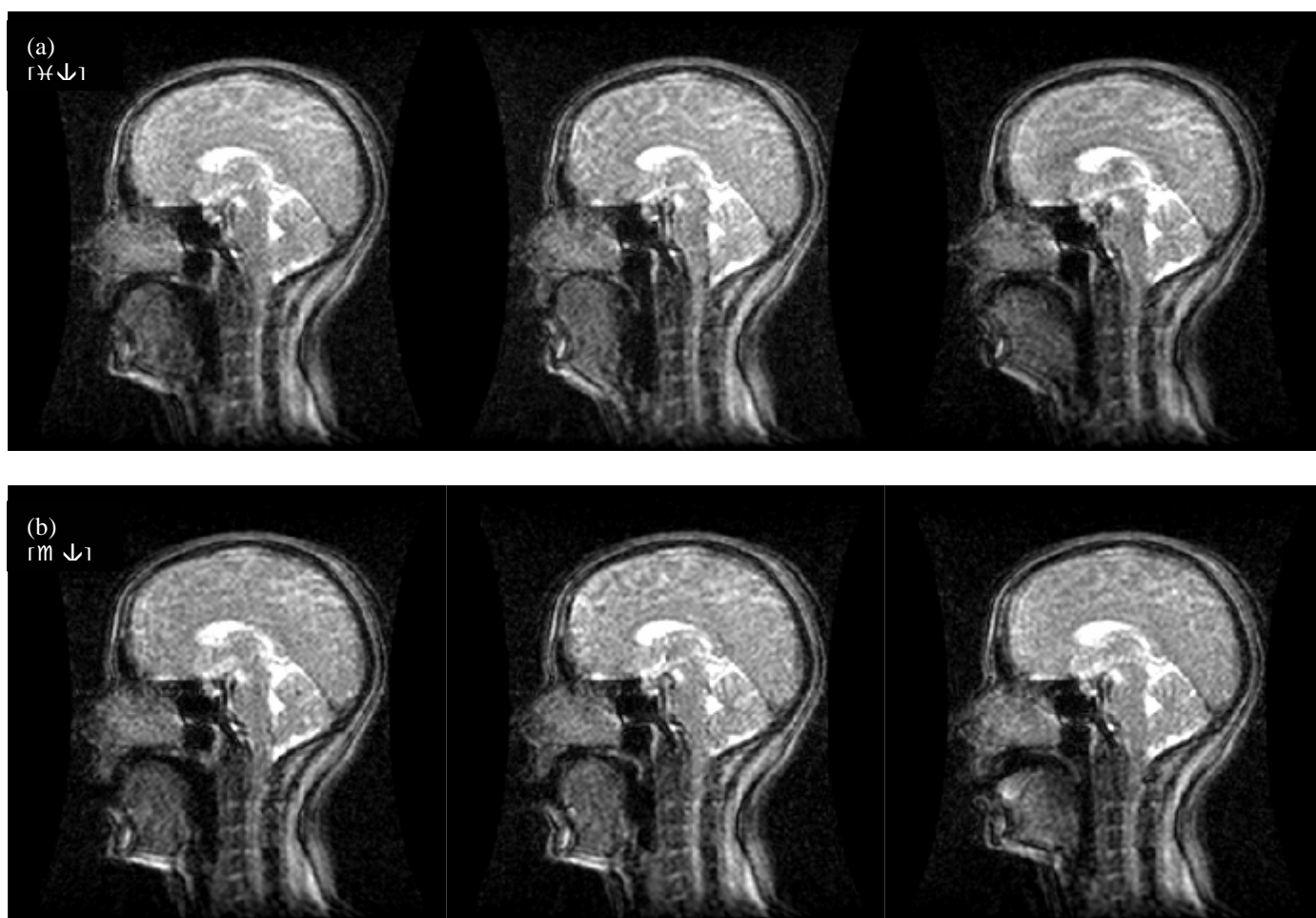


Figura 12. Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço destacando as três fases encontradas durante produção das vogais nasais [ɣ] (a) e [ɹ] (b)

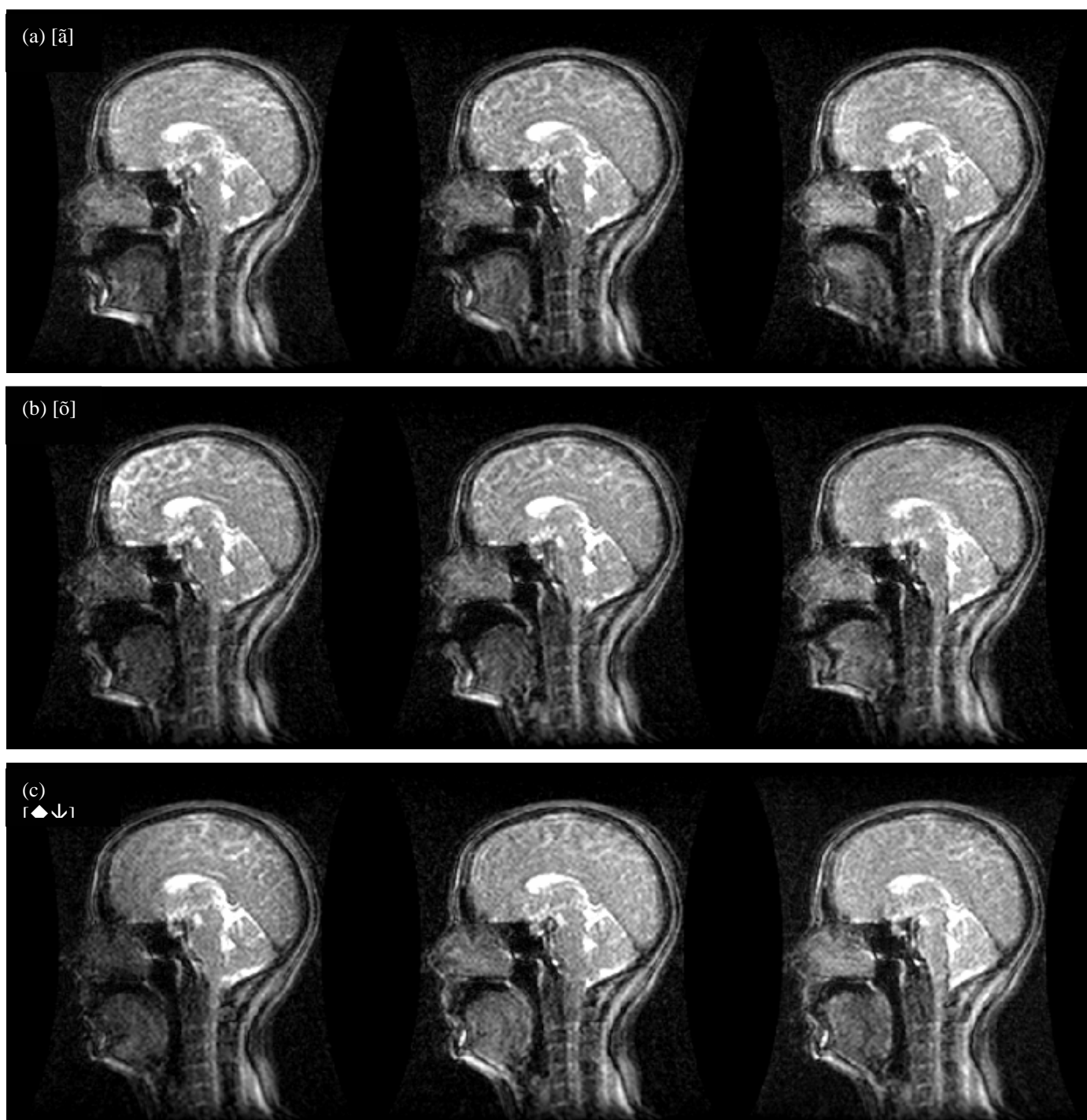


Figura 13. Quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço destacando as três fases encontradas durante produção das vogais nasais [ã](a), [õ](b) e [◆↓](c)

Nas figuras 14 a 18 são apresentadas as seqüências de quadros registradas para a produção de cada uma das cinco vogais nasais do português brasileiro.



Figura 14. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ɤ̃↓]



Figura 15. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ɪ ↓]



Figura 16. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [ã]

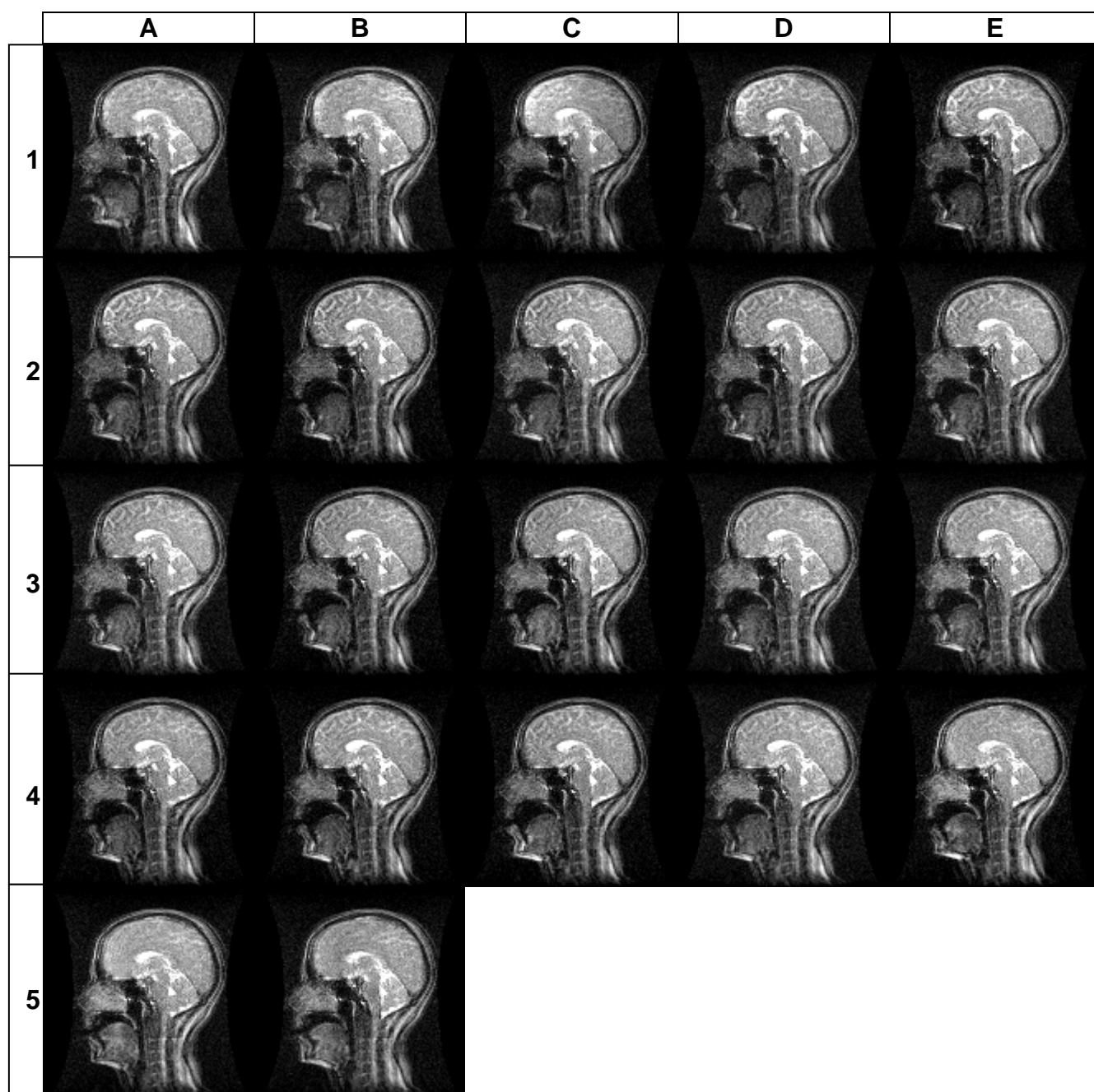


Figura 17. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [õ]



Figura 18. Seqüência dos quadros de IRM em plano sagital da cabeça e do pescoço da produção da vogal [◆↓]

Na Tabela 2 é apresentado o número de quadros registrados para cada uma das vogais nasais durante a emissão sustentada.

Tabela 2. QUANTIDADE DE QUADROS OBTIDOS DURANTE A PRODUÇÃO DE CADA VOGAL NASAL DO PORTUGUÊS BRASILEIRO

Vogais nasais	
[ɰ↓]	26
[m↓]	30
[ã]	25
[õ]	22*
[ɲ↓]	30
média	27,75

* O trecho final emitido desta vogal foi cortado, pois a emissão ultrapassou o tempo de aquisição das imagens.

4.3 Trato vocal supraglótico na ausência de produção sonora

Na figura 19 encontra-se um quadro de IRM referente ao trato vocal supraglótico na ausência de produção sonora, evidenciando os articuladores em posição de repouso, para fins de comparação entre atividade de repouso e produção de fala.



Figura 19. Quadro de IRM de trecho sem produção de som de fala

4.4 Análise acústica do sinal de fala registrado simultaneamente à captura de IRM para as vogais orais e nasais do português brasileiro

Neste tópico final são apresentados resultados de análise acústica das amostras do sinal de fala contaminado pelo ruído do equipamento de ressonância magnética, bem como dos estímulos resultantes das tentativas de filtragem. Tais dados são exemplificados por meio de dados de análise acústica (forma da onda e espectrograma de banda larga) da vogal [i].

Em primeiro, apresenta-se o sinal de fala gravado durante aquisição das imagens de ressonância magnética, sem filtragem, sendo possível observar o alto grau de contaminação do sinal de fala devido à forte presença do ruído do equipamento (figura 20).

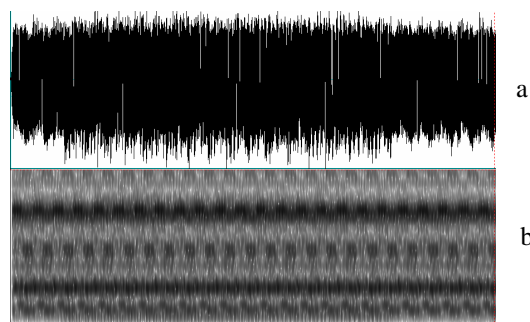


Figura 20. Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] – sinal de fala contaminado pelo ruído do equipamento de ressonância magnética

Na figura 21 apresenta-se a análise acústica do estímulo decorrente da filtragem total do ruído do equipamento de ressonância magnética na emissão da vogal [i], porém com eliminação de frequências de ressonância da fala (frequências dos formantes), as quais eram comuns ao ruído.

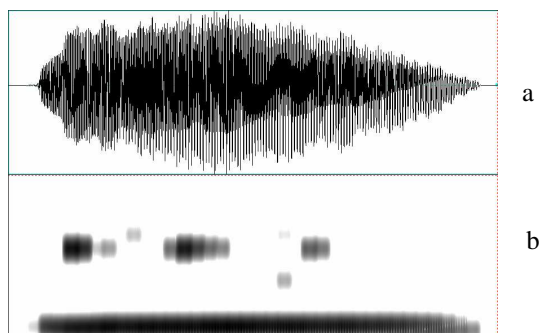


Figura 21. Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] – sinal de fala filtrado na tentativa de eliminação total do ruído

Na figura 22 apresenta-se a filtragem parcial do ruído, apenas o suficiente para o não comprometimento da qualidade da vogal, do ponto de vista perceptivo-auditivo. Porém, o ruído ainda se fez presente contaminando as frequências de fala.

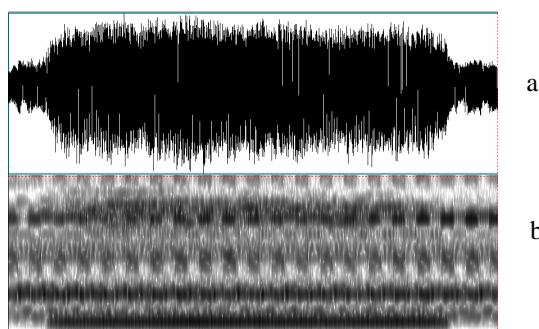


Figura 22. Forma da onda (a) e espectrograma de banda larga (b) da produção da vogal [i] apresentando sinal de fala contaminado pelo ruído – sinal de fala filtrado com eliminação parcial do ruído

5 DISCUSSÃO

Diante da incorporação recente de IRM para a descrição fonético-articulatória do português brasileiro, esta discussão abordou, inicialmente, aspectos relacionados à técnica, bem como, tendências para futuros estudos.

Todos os trabalhos levantados na literatura comentaram, de algum modo, como uma das dificuldades, o tempo de aquisição da imagem. Foi possível notar, evolução e variabilidade nas diversas pesquisas científicas e aparatos tecnológicos. O presente trabalho ultrapassou alguns trabalhos recentes que obtiveram média de 4 imagens/segundo, uma vez que atingiu a velocidade de aquisição de 5,8 imagens/segundo. No entanto, tal conquista ainda não foi suficiente para estudar a fala encadeada permitindo neste momento, o estudo com emissões sustentadas. Vale retomar que, o estudo encontrado na literatura com maior resolução obteve 20-24 imagens/segundo (Narayanan et al, 2004), indicando tendências ao avanço dos estudos de fala.

As imagens registradas permitiram a observação dos movimentos dos articuladores. As tentativas de sincronização do sinal acústico com as imagens obtidas deve ser realizada com muito cuidado dada às diferentes resoluções temporais das amostras e ao ruído da unidade de ressonância magnética no momento da captura das imagens. Desta maneira, o alinhamento das imagens com os respectivos sons registrados para as vogais do português brasileiro foi conduzido para tornar viável a descrição articulatória dos referidos segmentos. Entretanto, deve-se ressaltar que o sinal acústico utilizado para editar o vídeo permaneceu ainda com ruído do equipamento de ressonância magnética. Este ruído foi ligeiramente suavizado apenas para que, ao se assistir aos vídeos, o ruído não se sobressaísse em relação ao sinal de fala, facilitando sua análise e, conseqüentemente, dos movimentos dos articuladores. Tentativas de filtragem total do ruído foram realizadas, no entanto houve comprometimentos no sinal de fala, devido ao ruído concentrar-se em faixas de freqüências, nas quais recaem informações acústicas das vogais, principalmente das freqüências dos dois primeiros formantes. Como o sinal de fala foi comprometido,

medidas acústicas não foram viáveis como forma de estabelecer correspondências com as informações acústicas. Utilizou-se, para fins de comparação com os dados articulatórios coletados por meio de IRM, os dados acústicos encontrados na literatura (Figueiredo, 1994; Behlau et al, 1988; Araújo, 2000; Souza, 1994; Mendes, 2003).

Os estudos voltados às vogais orais e nasais no português brasileiro concentraram-se em descrições acústicas (Figueiredo, 1994; Souza, 1994; Aquino, 1997; Behlau et al, 1988; Gama-Rossi, 1999; Araújo, 2000; Mendes, 2003), em contraposição a um menor número na esfera articulatória (Pinho et al, 1988; Master et al, 1991; Machado, 1993). Destes, dois deles foram baseados na captura de uma imagem, por meio de xerorradiografia do aparelho fonador, para cada uma das vogais orais (Pinho et al, 1988) e das nasais do português brasileiro (Master et al, 1991) e, o terceiro, explorou os movimentos dos articuladores na produção de vogais nasais por meio de cine-radiografia (Machado, 1993). Mais recentemente, registrou-se estudo preliminar sobre as vogais nasais do português brasileiro por meio de IRM (Raposo, Demolin, 2005).

Do ponto de vista acústico, as descrições estiveram centradas na exploração do comportamento dos formantes das vogais orais tanto em falantes sem alteração (Figueiredo, 1994; Aquino, 1997; Behlau et al, 1988; Araújo, 2000; Souza, 1994) como em falantes com alterações de fala (Mendes, 2003). Mesmo diante de amostras com variação de taxa de elocução, de padrões de acentuação, de alterações de fala – por deficiência auditiva – e variação de gênero e idade, foi possível determinar o trapézio acústico das vogais, sendo distintas as vogais [i,a,u] e variando o grau de sobreposição das demais vogais e, conseqüentemente, do formato do trapézio acústico. Mesmo com tais variações, as sete vogais orais apresentaram características acústicas distintas entre si, o que é explicado pelas teorias quântica e de dispersão (Lindblom, 1986; Stevens, 1989; Lindblom, 1990; Lindblom, 1991). Tais achados acústicos descrevem, por meio, principalmente, de medidas de frequência de F1 e F2, o posicionamento do dorso de língua, caracterizando-o em relação a sua altura e ao seu eixo ântero-posterior de movimentação descrevendo assim, as diversas vogais (figura 2).

No presente trabalho, os dados de IRM permitiram observar com maior detalhamento a configuração de dorso da língua, a abertura da cavidade oral e o

posicionamento do palato mole durante a produção das vogais orais e nasais. No grupo das vogais orais, a configuração do trato vocal supraglótico revelou palato mole elevado e diferenciadas posições do dorso de língua e de abertura da cavidade oral. O dorso da língua mostrou-se baixo e levemente posteriorizado na vogal [a]; alto e anteriorizado em [i]; médio tendendo a alto e anterior em [e]; médio tendendo a baixo e anterior em [ɛ]; e alto e mais posteriorizado em [u]. As vogais [o] e [ɔ] mostraram pequenas diferenças entre si em relação à altura do dorso da língua, apresentando-o levemente mais baixo e retraído em [ɔ] em comparação com [o], sendo observado maior constrição faríngea em [ɔ]. Em estudos futuros, torna-se relevante, possivelmente, para diferenciar as vogais [o] e [ɔ], o ajuste labial, o qual não foi possível descrever com exatidão devido ao baixo contraste de imagem nesta região. A vogal [i] mostrou-se a mais alta e também a mais anterior em relação às demais, enquanto a vogal [u] mostrou-se a mais posterior e igualmente alta. Com maior constrição faríngea, encontrou-se a vogal [ɔ] seguida de [a] e, com menor constrição, encontrou-se a vogal [i]. Quanto à abertura da cavidade oral, pôde-se observar maior abertura em [a], seguida, de forma decrescente, por [ɛ] e [ɔ] e, na seqüência, por [e], [o], [i] e [u]; caracterizando-se aberta em [a], [ɛ] e [ɔ] e fechada em [e], [o], [i] e [u].

Os dados articulatórios, acima descritos, das vogais orais confirmam a literatura encontrada no tocante à classificação articulatória (Câmara Jr, 1972; Cabral, 1979; Pinho et al, 1988; Callou, Leite, 1990; Camargo et al, 2000; Silva, 2002; Barbosa, Albano, 2004) e corroboram a relevância dos cinco fatores para classificá-las e não somente do posicionamento do dorso de língua. Os dados de IRM para a vogal [a], no que se refere à posição de língua no eixo ântero-posterior, corroboram as indicações de Câmara Jr (1972) quanto à tendência à classificação posterior, assim como indicaram Barbosa e Albano (2004) apoiados no primeiro autor (Câmara Jr). Desta forma, tem-se um dado diferenciado em relação à tradicional classificação articulatória da vogal [a] descrita como central (Cabral, 1979; Pinho et al, 1988; Callou, Leite, 1990; Camargo et al, 2000; Silva, 2002).

Os dados articulatórios aqui descritos, especificamente, de altura e anterioridade de língua, corroboram os dados acústicos da literatura sobre vogais orais, indicando respectivamente, relação a frequência de F1 e com a frequência de F2 (Lindblom,

Sundberg, 1971; Behlau et al, 1988; Delgado Martins, 1988; Kent, Read, 1992; Camargo, 1999; Johnson, 2003).

A análise das imagens da produção das vogais nasais propiciou algumas considerações, as quais revelaram diferentes posturas assumidas pelos articuladores no decorrer da produção de cada vogal nasal evidenciando três fases distintas (figuras 12 e 13). Ao contrário das vogais orais que apresentaram um período estacionário (parte estável), as nasais não; apresentaram movimentações dos articuladores.

A primeira fase encontrada caracterizou-se como uma fase oral devido ao posicionamento do palato mole elevado ou levemente abaixado. Essa fase mostrou-se presente em todas as vogais nasais, mas revelou variações decorrentes da necessidade de ajustes entre os articuladores palato mole e língua para alcançar a abertura velofaríngea, apresentando a vogal [ã] (figura 16) mais quadros com palato mole elevado e a vogal [◆↓] (figura 18), apenas um quadro.

O fato da vogal nasal [◆↓] ter apresentado tal comportamento, assim como [⋈↓], pôde ser explicado pela ação do músculo palatoglosso, responsável por abaixar o palato mole e elevar a língua, principalmente sua parte posterior (Costa et al, 1994), o que justificaria também, a vogal [a], baixa, apresentar mais quadros com elevação de palato mole em relação às demais vogais nasais. Além disso, na nasalização, o palato mole pode não estar fechado completamente em situações normais (Laver, 1980). Foi verificado, por meio de nasoendoscopia, a presença mínima desta abertura em alguns sujeitos sem alterações da função do esfíncter velofaríngeo, principalmente durante a produção da vogal oral [a] (Camargo et al, 2001). Vale lembrar que a abertura velofaríngea foi considerada maior quando da produção dos sons nasais em comparação com a posição de repouso durante a respiração (Stevens, 1998).

Apontou-se aqui, a necessidade de realizar, para uma adequada descrição da abertura velofaríngea, medidas tridimensionais do trato vocal supraglótico tal como outros estudos com uso de IRM (Wein et al, 1991; Yamawaki et al, 1997; Vadodaria et al, 2000; Demolin et al, 2003), pois esta região é de difícil observação, sendo necessárias imagens em outros planos, além do plano sagital.

Quanto à posição de dorso de língua, pôde-se observar algumas modificações nas vogais [ã], [◆↓] e [õ] em relação às respectivas orais [a], [u] e [o]. A vogal nasal [ã] apresentou dorso de língua mais anteriorizado que sua correspondente oral, assim como descrito na literatura (Câmara Jr, 1972; Silva, 2002) e as vogais [u] e [o] mostraram dorso de língua menos retraídos que [◆↓] e [õ], sendo esta modificação mais acentuada em [◆↓] do que em [õ]. A vogal [◆↓] manteve-se como a mais posterior das vogais nasais. A modificação verificada na postura do dorso de língua tem efeito na cavidade faríngea, a qual se apresentou com maior constrição nas vogais retraídas ([◆↓] e [õ]). Master et al (1991) relatou mudanças nas vogais nasais posteriores em relação as suas respectivas correspondentes, sendo em ordem decrescente, maior modificação em [ã], [õ] e [◆↓].

Os dados articulatórios descritos acima podem corresponder aos dados acústicos relatados na literatura das vogais nasais (Souza, 1994), os quais indicam elevação da frequência de F2 nas vogais nasais anteriores; tais dados apontariam a anteriorização da vogal [ã] e, diminuição da frequência de F2 nas vogais posteriores, destacando a posteriorização de [õ] e [◆↓].

Retomando a análise de IRM para as vogais nasais, a segunda fase de movimento dos articuladores encontrada nas vogais nasais caracterizou-se pela mesma postura do dorso de língua observada na fase anterior, no entanto acrescida de uma abertura velofaríngea necessária para o acoplamento da cavidade nasal. Nesta fase, todas as vogais apresentaram palato mole abaixado, sendo designada como fase nasal das vogais nasais. Observou-se também, contato do dorso de língua com o palato mole nas vogais [ã], na qual se verificou aproximação entre úvula e dorso de língua; [õ], contato entre úvula e dorso de língua; e [◆↓], contato entre palato mole, úvula e dorso de língua. Tal comportamento foi justificado por terem, estas vogais, a postura do dorso de língua posteriorizada, principalmente [◆↓], já que o mesmo não ocorreu nas vogais anteriores. Este dado foi constatado na literatura (Stevens, 1998).

Já a terceira fase, caracterizou-se por um movimento de dorso, mas especificamente, da região ântero-dorsal da língua, em direção à região palato-alveolar do palato duro. Este movimento pôde ser evidenciado por meio da comparação dos seguintes quadros, entre o par vogal nasal e sua correspondente oral: os quatros últimos quadros das figuras 5 (4A ao 4D) e 14 (5C ao 6A) referentes à [i]-[ɨ]↓; na

seqüência, os seis últimos quadros das figuras 6 (3E ao 4E) e 15 (5E ao 6E) para [e]-[ɲ↓]; os seis últimos quadros das figuras 8 (3D ao 4D) e 16 (4E ao 5E) para [a]-[ã]; os quatro últimos quadros das figuras 10 (4E ao 5C) e 17 (4D ao 5B) para [o]-[õ] e, por fim, os quadros 3E ao 4D da figura 11 e os de 3C ao 5E da figura 18 para [u]-[w↓].

Esta última fase evidenciou um movimento de língua não característico da produção de segmento vocálico, uma vez que, ao adquirir tal postura, o espaço descrito para a produção das vogais foi modificado apresentando redução das cavidades ressoadoras. Este dado pode ser interpretado como uma postura de língua em trajetória à realização de um segmento consonântico, o que indicaria em ser a vogal nasal, uma vogal oral contaminada por ajustes de uma consoante nasal, como apontava Câmara Jr (1972). Ou, por outro lado, pode ser tratado como equivalente à fase denominada por Souza (1994), como múrmurio nasal.

No que se concerne às correspondências acústicas com os dados articulatórios encontrados neste trabalho, as medidas de duração não foram coletadas pelo mesmo motivo que não foram extraídas as freqüências dos formantes. Embora o critério de extração de tais medidas seja visual, isto é, marca-se o pulso inicial e final da emissão na forma da onda, não se considerou fidedigno mensurá-la por conta da dificuldade em marcar com precisão o início e o término de cada vogal, uma vez que o ruído se fazia presente e, sua filtragem, mesmo que total ou parcial, eliminou dados do sinal de fala (figuras 20 a 22). No entanto, o número de quadros, ao comparar as vogais orais (tabela 1) com as nasais (tabela 2), sugeriu que as nasais, no geral, apresentavam-se mais longas que as suas correspondentes orais, o que está de acordo com os estudos da literatura (Machado, 1993; Souza, 1994).

As variações encontradas entre o grupo de vogais orais e também entre o de nasais podem ser devido, provavelmente, à condição de coleta de dados em que a situação de fala, embora o falante tivesse feito treino prévio, não era natural, tanto pelo ambiente de coleta e posição do falante, como pelo estímulo de fala (vogais sustentadas). Deste modo, tal dado de duração foi considerado como uma estimativa.

O suposto aumento da duração encontrado nas vogais nasais pode ser explicado pela existência de um outro elemento, neste caso, a consoante nasal (Câmara Jr,

1972) ou, pelos fatores de motricidade do palato mole, devido ao seu movimento lento suposto por Souza (1994). Para a segunda autora, na fase oral (primeira fase encontrada), o movimento do palato mole tem como finalidade abrir a passagem para a cavidade nasal e no múrmurio (última fase), o movimento ocorre em direção à postura de repouso. Diante do exposto, a mesma autora, embora tenha fornecido tal explicação e não tenha verificado no múrmurio nasal pistas acústicas de transição para um segmento consonântico, sugeriu novas pesquisas a fim de compreender melhor a nasalização do português brasileiro, uma vez que seus dados eram acústicos, permitindo apenas inferências sobre o posicionamento dos articuladores.

No mesmo tópico, os dados coletados por meio de IRM no presente trabalho evidenciaram que na fase inicial das vogais nasais, o palato mole parte da posição de repouso (respiração) e, na seqüência, eleva-se fechando a região velofaríngea e definindo a fase oral (primeira fase). Este achado parece contrariar o argumento de ser a primeira fase um movimento para abrir a cavidade nasal, pois, inicialmente o palato mole fecha a cavidade nasal (primeira fase) e, posteriormente a abre (segunda fase). Tal diferença encontrada entre os estudos pode ser devido às amostras de fala utilizadas para análise, uma vez que Souza (1994) coletou vocábulos e, o presente trabalho, vogais sustentadas.

O trabalho realizado com imagens de vogais nasais no português brasileiro por Master et al (1991) e a exploração acústica dos formantes de vogais nasais por Behlau et al (1988) não abordaram as fases de movimentação dos articuladores nas vogais nasais, não descrevendo assim, a natureza das vogais nasais. Já Machado (1993), confirmou a presença de um elemento consonântico, no entanto destacou que este pode estar ausente em situações mediante à presença de pausas. Vale retomar que, neste trabalho realizado, o intervalo entre uma emissão e outra de cada vogal foi marcado por pausa silenciosa feita pelo falante, uma vez que cada série de gravação constava de quatro vogais.

Como nesta pesquisa foram estudadas as vogais em contexto isolado, ou seja, em emissão sustentada e não em fala encadeada, a questão da nasalidade (alofonia da vogal oral), considerada distinta da nasalização (vogal nasal) (Souza, 1994 ; Silva, 2002), não foi alvo de discussão. No entanto, no que concerne à descrição das vogais

nasais, isto é, à nasalização dos segmentos vocálicos, este estudo sinalizou para a não existência de vogais puramente nasais, como as do francês, apontado por Câmara Jr (1972), visto a existência de modificações de postura dos articuladores durante a produção de tais vogais.

Não obstante estes dados encontrados, sugere-se a ampliação de estudos sobre as vogais, especificamente com as nasais, por meio de dados articulatórios para melhor contemplar esclarecimentos a cerca da nasalização no português brasileiro.

A IRM revelou-se como instrumento eficiente para caracterizar a configuração dos articuladores, porém, torna-se necessário o aumento da resolução temporal para que se possa analisar com mais precisão os movimentos dos articuladores e, futuramente, contemplar a fala encadeada. Embora, este trabalho tenha constado de amostras de fala em emissão sustentada, as vogais nasais não apresentaram apenas uma fase como as orais; revelando modificações que se beneficiariam de uma aquisição da imagem com maior velocidade para melhor caracterização.

As correspondências entre os dados articulatórios e acústicos são essenciais para desvendar os processos envolvidos na produção de fala normal e/ou alterada. Estudos como este devem continuar a ser elaborados para que se obtenham padrões referenciais acerca da produção dos sons do português brasileiro, para que referenciais de outras línguas não sejam incorporados, evitando assim, condutas equivocadas na clínica de fala e voz.

Nesse sentido, o dado articulatório merece destaque pelo seu poder explanatório de verificar se um determinado segmento, por vezes não concretizado na cadeia da fala devido às diversas alterações de fala, encontra-se presente ou não na pauta gestual, propiciando dados complementares à avaliação clínica.

Este trabalho sobre a produção do sons de fala, especificamente, segmentos vocálicos, por meio de IRM ainda encontra-se inicial no cenário nacional significando, neste momento, uma linha de pesquisa interdisciplinar com implicações para aplicação clínica e prática no que se remete ao contexto fonoaudiológico e linguístico. Dados sobre a configuração do trato vocal durante a produção de fala não somente auxiliam o

processo de diagnóstico e de reabilitação na clínica fonoaudiológica, como servem de base para o desenvolvimento de outros estudos na área das Ciências da Fala, como considerações e reflexões sobre a relação produção e percepção de fala, como também, para auxílio do ensino do português brasileiro para falantes de outra língua materna.

6 CONCLUSÃO

O dado articulatório, obtido por meio de IRM, mostrou-se relevante para caracterizar as vogais do português brasileiro.

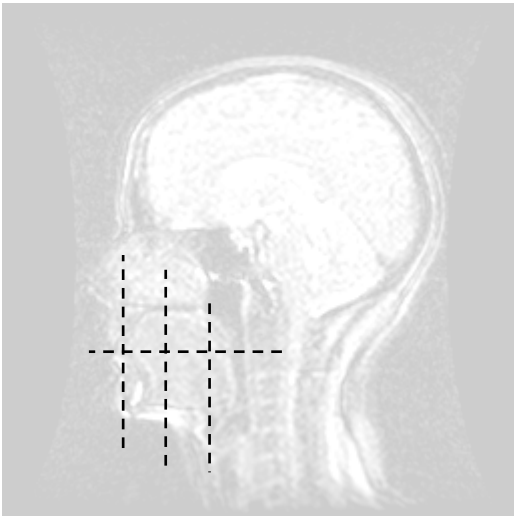
As vogais orais caracterizaram-se pelo posicionamento do palato mole, pelo posicionamento do dorso de língua (altura e deslocamento ântero-posterior), pela abertura da cavidade oral e pelo ajuste labial, embora este último não tenha sido investigado por questões técnicas.

As vogais nasais caracterizaram-se pelos fatores acima descritos para as vogais orais e, principalmente, pela presença de três fases diferenciadas devido às modificações dos articuladores durante suas produções (fase oral, fase nasal e fase nasal com movimento de língua). As vogais nasais [ã], [õ] e [◆↓] apresentaram mudanças de posturas do dorso de língua em relação às respectivas orais [a], [o] e [u]. A duração estimada da vogal, considerada por meio do número de quadros obtidos, mostrou-se maior nas nasais comparadas com suas correspondentes orais.

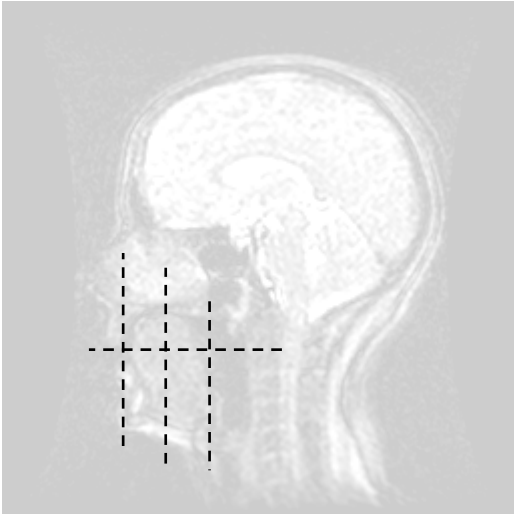
Anexo 1**QUESTIONÁRIO**

1. Nome
2. Data de nascimento
3. Idade atual
4. Sexo
5. Grau de escolaridade
6. Profissão
7. Local de nascimento
8. Local de nascimento dos pais
9. Fala outro idioma? Se sim, qual(is)?
10. Entende outro idioma? Se sim, qual(is)?
11. Escreve ou lê outro idioma? Se sim, qual(is)?
12. Já fez ou faz tratamento fonoaudiológico? Se sim, quando e por quê?
13. Já fez ou faz tratamento ortodôntico? Se sim, quando e por quê?
14. Tem algum problema respiratório? Se sim, qual(is)?
15. Está fazendo uso de algum medicamento? Se sim, qual(is)?
16. Já sofreu alguma doença grave ou cirurgia? Se sim, qual(is)? Deixou seqüelas?
17. Acha que tem alguma dificuldade para falar? Descreva como é sua fala e sua voz.
18. Acha que tem alguma dificuldade para entender o que as pessoas falam? Se sim, explique.
19. Já teve infecções no ouvido? Se sim, quando e em qual?
20. Sente coceira no ouvido? Se sim, desde quando e em qual?
21. Sente dor no ouvido? Se sim, desde quando e em qual?
22. Tem dificuldades para ouvir a campainha ou o toque do telefone?
23. Tem dificuldades para ouvir televisão?
24. Tem dificuldades para falar ao telefone?
25. Tem dificuldades para conversar com apenas uma pessoa em ambiente silencioso?
26. Tem dificuldades para conversar com apenas uma pessoa em ambiente barulhento?
27. Tem zumbido?
28. Tem tontura ou dificuldades de equilíbrio?
29. Já fez exame de audição? Se sim, quando e por quê?
30. Alguém na família teve ou tem problema de audição?
31. Alguém na família teve ou tem problema de linguagem?
32. Alguém na família teve ou tem problema neurológico?
33. Observações complementares.

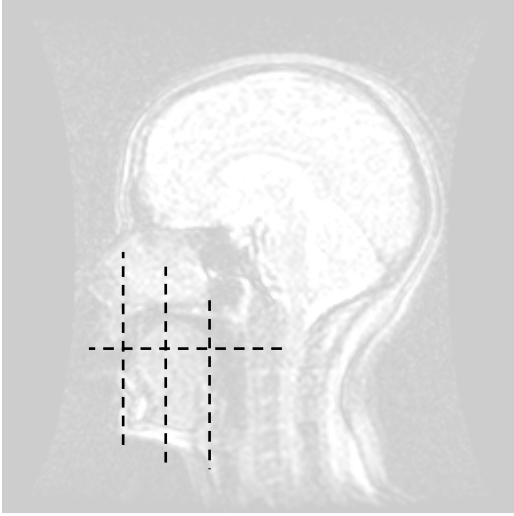
Anexo 2



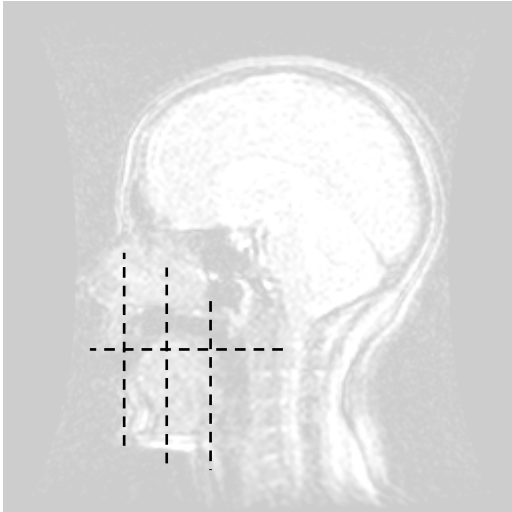
reposu



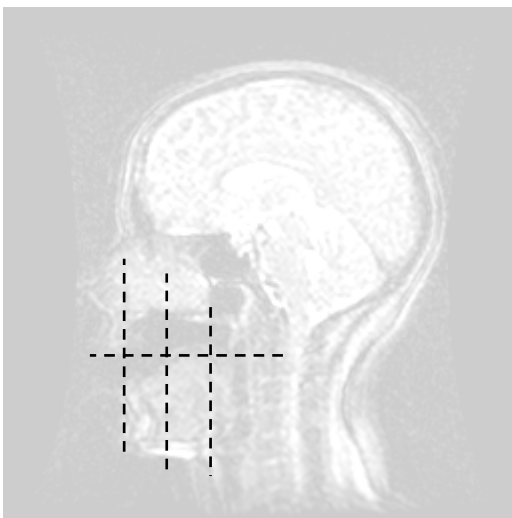
Vogal [i]



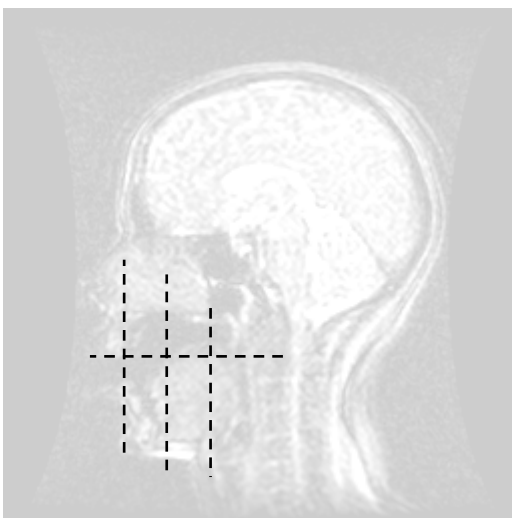
Vogal [e]



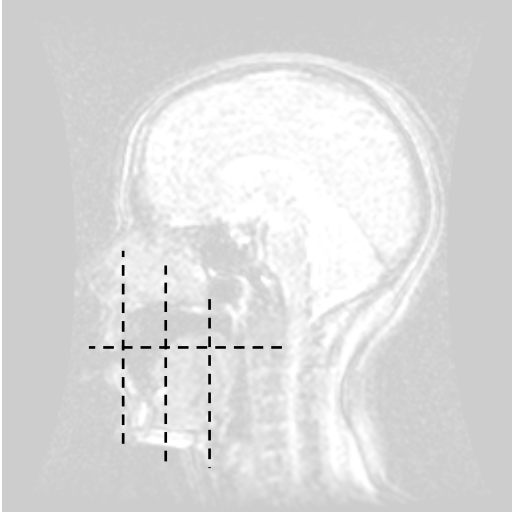
Vogal [e]



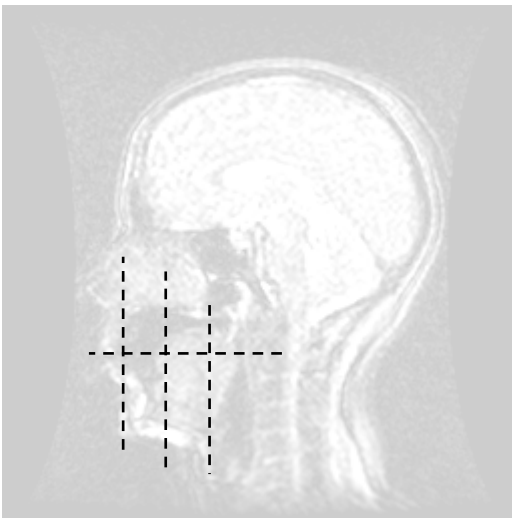
Vogal [a]



Vogal [ə]



Vogal [o]



Vogal [u]

Anexo 3

Termo de consentimento livre e esclarecido

Nome do(a) Participante: _____ Data: ____/____/____
 Endereço: _____ Cidade: _____ Estado: _____ CEP: _____
 Telefone: (____) _____ RG: _____ CPF: _____

Nome da Pesquisadora Principal: Fabiana Nogueira Gregio

Instituição: Laboratório Integrado de Análise Acústica e Cognição da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – LIAAC-PUCSP

1. *Título do estudo:* A configuração do trato vocal nas vogais orais do português brasileiro: aspectos acústicos e articulatórios
2. *Propósito do estudo:* Descrever os aspectos acústicos (padrão de formantes) e articulatórios (configurações do trato vocal supraglótico) da produção das vogais orais do português brasileiro.
3. *Procedimentos:* Fornecerei informações, por meio de um breve questionário, sobre meu histórico pessoal de desenvolvimento de fala e linguagem além de informações sobre a existência ou não de queixas e/ou alterações dos sistemas auditivo e neurológico e serei avaliado clinicamente por meio de uma triagem fonoaudiológica a fim de excluir alterações de oclusão dentária e de órgãos fonoarticulatórios. Em seguida, será realizada a coleta de dados acústicos e articulatórios para qual farei exame de ressonância magnética, o qual será realizado no Instituto do Coração da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, local este que possui pesquisadores em parceria com os estudos desenvolvidos no LIAAC-PUCSP. Durante o exame serei solicitado(a) a emitir frases contendo as vogais estudadas. Tal procedimento não necessita de exposição à radiação nem uso de contraste.
4. *Riscos e desconfortos:* nenhum.
5. *Benefícios:* Minha participação é voluntária e não trará qualquer benefício direto, mas proporcionará um melhor conhecimento a respeito dos mecanismos da fala os quais servirão de base para a clínica de voz e fala, para estudos com sistemas alternativos de comunicação, como também para futuros estudos na área das Ciências da Fala.
6. *Direitos do participante:* Eu posso me retirar deste estudo a qualquer momento, sem sofrer nenhum prejuízo e tenho direito de acesso, em qualquer etapa do estudo, sobre qualquer esclarecimento de eventuais dúvidas.
7. *Compensação financeira:* Não existirão despesas ou compensações financeiras relacionadas à minha participação em qualquer etapa do estudo, incluindo exames e consultas, exceto reembolso dos gastos com transporte até o local do estudo.
8. *Incorporação ao banco de dados do LIAAC:* Os dados obtidos com minha participação, na forma de entrevistas, gravações em áudio, imagens de ressonância magnética e relatório de avaliação fonoaudiológica serão incorporados ao banco de dados do LIAAC, cujos responsáveis zelarão pelo uso e aplicabilidade das amostras exclusivamente para fins científicos, apenas consentindo o seu uso futuro em projetos que atestem pelo cumprimento dos preceitos éticos em pesquisas envolvendo seres humanos.
9. *Em caso de dúvida quanto ao item 8, posso entrar em contato com os responsáveis pelo banco de dados do LIAAC (Dra. Zuleica Camargo, Dra. Aglael Gama-Rossi e Prof. Mário Fontes) no telefone: (11)3670-8333.*
10. *Confidencialidade:* Compreendo que os resultados deste estudo poderão ser publicados em jornais profissionais ou apresentados em congressos profissionais, sem que minha identidade seja revelada.
11. ***Se tiver dúvidas quanto à pesquisa descrita posso telefonar para a pesquisadora Fabiana Nogueira Gregio no número xxxxxx a qualquer momento.***

Eu compreendo meus direitos como um sujeito de pesquisa e voluntariamente consinto em participar deste estudo e em ceder meus dados para o banco de dados do LIAAC. Compreendo sobre o que, como e porque este estudo está sendo feito. Receberei uma cópia assinada deste formulário de consentimento.

Assinatura do sujeito participante

Data

Assinatura do pesquisador

Anexo 4

**COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - PUCSP**

Programa de Pós Graduação em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem da PUC/SP

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Madureira

Pesquisadora: Fabiana Nogueira Gregio

Protocolo nº: 029/2005

Parecer sobre a Dissertação de Mestrado *A configuração do trato vocal nas vogais orais do português brasileiro: aspectos articulatórios e acústicos*

Em conformidade com os critérios da Resolução nº 196 de 10 de outubro de 1996, do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde, a relevância social, a relação custo/benefício e a autonomia dos sujeitos pesquisados, foram preenchidos.

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido permite ao sujeito compreender o significado, o alcance e os limites de sua participação nesta pesquisa.

No nosso entendimento, o Projeto em questão não apresenta qualquer risco ou dano ao ser humano do ponto de vista ético.

Assim, o parecer do comitê é favorável à aprovação do projeto.

São Paulo, 26 de abril de 2005.



Prof. Dr. Paulo-Edgar Almeida Resende
Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa da PUCSP

8 REFERÊNCIAS

Albano EC. O gesto e suas bordas: esboço de fonologia acústico-articulatória. Campinas: Mercado de Letras e Associação de Leitura do Brasil; 2001.

Alwan A, Narayanan S, Haker K. Toward articulatory-acoustic models for liquid consonants based on MRI and EPG data. Part II – the rhotics. *J Acoust Soc Am* 1997;101(2):1078-89.

Aquino PA. O papel das vogais reduzidas pós-tônicas na construção de um sistema de síntese concatenativa para o português do Brasil. Dissertação de mestrado, UNICAMP;1997.

Araújo AML. Jogos computacionais fonoarticulatórios para crianças com deficiência auditiva. Tese de doutorado, UNICAMP; 2000.

Arcuri SM, McGuire PK. Ressonância magnética funcional e sua contribuição para o estudo da esquizofrenia. *Ver Bras Psiquiatr* 2000;23(1):38-41.

Barbosa PA, Albano EC. Brazilian portuguese. *JIPA* 2004;34(2):227-32.

Baer T, Gore JC, Gracco LC, Nye PW. Analysis of vocal tract shape and dimensions using magnetic resonance imaging: vowels. *J Acoust Soc Am* 1991;90(2):799-828.

Badin P, Bailly G, Raybadi M, Segebarth C. A three-dimensional linear articulatory model based on MRI data. In: 3rd International workshop on speech synthesis; 1998; Jenolan Caves. Proceedings. Jenolan Caves: ESCA/COCOSDA; 1998. p.249-54.

Badin P, Bailly G, Revéret L, Baciú M, Segebarth C, Savariaux C. Three-dimensional linear articulatory modeling of tongue, lips and face based on MRI and video images. *J Phonetics* 2002;30:533-53.

Baken RJ, Daniloff RG. The spectra of vowels. In:_____ . Readings in clinical spectrography of speech. San Diego: Singular Publishing Group; 1991.

Behlau MS, Pontes PAL, Ganança MM, Tosi O. Análise espectrográfica de formantes das vogais do português brasileiro. Acta AWHO 1988;7(2) 74-85.

Bello-Bisson AN. Um estudo da variação das vogais inacentuadas no português brasileiro. Dissertação de mestrado, PUCSP; 2001.

Bianchini EMG. Avaliação fonoaudiológica da motricidade oral: anamnese, exame clínico, o quê e por que avaliar. In: _____ (org). Articulação temporomandibular: implicações, limitações e possibilidades fonoaudiológicas. Carapicuíba: Pró-Fono; 2000.

Browman CP, Goldstein LM. Tiers in articulatory phonology. In: Kingston J, Beckman M (eds). Between the grammar and physics of speech. Cambridge: Cambridge University; 1990.

Cabral LS. Introdução à linguística. 4ªed. Porto Alegre: Globo; 1979.

Callou D, Leite Y. Iniciação à fonética e à fonologia. 4ªed. Rio de Janeiro: Zahar; 1990.

Câmara Jr. JM. Estrutura da língua portuguesa. 3ªed. Rio de Janeiro: Vozes; 1972.

Camargo LOS, Rodrigues CM, Avelar JA. Oclusão velofaríngea em indivíduos submetidos à nasoendoscopia na clínica de educação para saúde (CEPS). Salusvita 2001;20(1):35-48.

Camargo ZA. Da fonação à articulação – princípios fisiológicos e acústicos. Fonoaudiol Bras 1999;2(2):14-9.

Camargo ZA, Fontes MAS, Madureira S. Introdução ao estudo dos sons da fala. São Paulo; 2000. [Apostila da disciplina de Fonética e Fonologia do curso de Fonoaudiologia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo].

Camargo ZA. Análise da qualidade vocal de um grupo de indivíduos disfônicos: uma abordagem interpretativa e integrada de dados de natureza acústica, perceptiva e eletroglotográfica. Tese de doutorado, PUCSP; 2002.

Camargo ZA, Gregio FN, Cukier S. Análise acústica da fala: dados indicativos de mobilidade de língua e suas implicações no planejamento terapêutico. In: XII Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia e II Encontro Sul Brasileiro de Fonoaudiologia; 2004; Foz do Iguaçu. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia; 2004.

Costa M. Revisão anatômica e videofluoroscópica das bases morfofuncionais da dinâmica da deglutição. Rio de Janeiro; 2003. [Apostila com material instrucional do XI curso de extensão].

Costa SS, Cruz OLM, Oliveira JAA. Otorrinolaringologia – princípios e prática. Porto Alegre: Ates Médicas; 1994.

Dang J, Honda K, Suzuki H. MRI measurements and acoustic of the nasal and paranasal cavities. J Acoust Soc Am 1993;94(3):1765.

Daniloff R, Schuckers G, Feth L. The physiology of speech and hearing – an introduction. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1980.

Delgado Martins MRD. Ouvir falar: introdução à fonética do português. Lisboa: Caminho; 1988.

Demolin D, George M, Lecuit V, Metens T, Soquet A, Raeymaekers H. Coarticulation and articulation compensations studied by dynamic MRI. In: Eurospeech; 1997; Rhodes. Proceedings. Rhodes: ESCA; 1997. p.43-6.

Demolin D, Lecuit V, Metens T, Nazarian B, Soquet A. Magnetic resonance measurements of the velum port opening. In: 5th International conferences on spoken language processing; 1998; Sydney. Proceedings. Sydney: ICSLP; 1998. p.425-9.

Demolin D, Metens T, Soquet A. Real time MRI and articulatory coordinations in vowels. In: 5th Speech Production Seminar; may 2000; München. Proceedings. München: SPC; 2000 p.86-93.

Demolin D, Delvaux V, Metens T, Soquet A. Determination of velum opening for french nasal vowels by magnetic resonance imaging. J Voice 2003;17(4):454-67.

Di Girolamo M, Corsetti A, Laghi A, Ferone E, Iannicelli E, Rossi M, Pavone P, Passariello R. Assessment with magnetic resonance of laryngeal and oropharyngeal movements during phonation. Radiol Med Torino 1996;92:33-40.

Douglas CR. Tratado de fisiologia aplicada à fonoaudiologia. São Paulo: Robe; 2002.

Engwall O, Badin P. Collecting and analysing two- and three-dimensional MRI data for Swedish TMH-QPSR 1999;3-4:11-38.

Engwall O. A 3D tongue model based on MRI data. In: 6th International conferences on spoken language processing; 2000; Beijing. Proceedings. Beijing: ICSLP; 2000. p.901-4.

Engwall O, Badin P. An MRI study of Swedish fricatives: coarticulatory effects. In: 5th Speech Production Seminar; 2000 May; München. Proceedings. München: SPC; 2000. p.297-300.

Engwall O. A revisit to the application of MRI to the analysis of speech production – testing our assumptions. In: 6th International seminar on speech production; 2003 Dec; Sydney. Proceedings. Sydney: ISSP; 2003.

Fant G. Acoustic theory of speech production. 2nded. Paris: Mounton; 1970.

Fant G. Speech sounds and features. Cambridge: MIT Press; 1973.

Figueiredo RM. Identificação de falantes: aspectos teóricos e metodológicos. Tese de doutorado, UNICAMP; 1994.

Gama-Rossi AJA. Relações entre desenvolvimento lingüístico e neuromotor: a aquisição da duração no português brasileiro. Tese de doutorado, UNICAMP; 1999.

Gick B, Kang AM, Whalen DH. MRI and x-ray evidence for commonality in the dorsal articulation of English vowels and liquids. In: 5th Seminar on speech production: models and data; 2000. Proceedings. München: SSP; 2000. p. 69-72.

Gregio FN, Cukier S, Marchesan IQ, Camargo ZA, Madureira S. Dados acústicos do posicionamento da língua na fala de respiradores orais. In: XIII Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia; 2005; Santos. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia; 2005.

Groher ME. Dysphagia: diagnosis and management. 3rd ed. Newton: Butlerworth-Heinemann; 1997.

Hayward K. Experimental phonetics. Harlow: Pearson Education; 2000.

Hawkins S, Stevens KN. Acoustic and perceptual correlates of the non-nasal/nasal distinction for vowels. J Acoust Soc Am 1985;77(4):1560-74.

Hornack JP. The basics of MRI: a hypertext book on magnetic resonance imaging. [online]. Rochester: Rochester Institute of Technology; 1996. [cited 2005]. Available from: URL: <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri>

House AS, Stevens KN. Analog studies of the nasalization of vowels. *J Speech Hear Dis* 1956;21:218-32.

Jackson P, Shadle C. Aero-acoustic modelling of voiced and unvoiced fricatives based on MRI data. In: 5th Seminar on speech production; 2000; München. Proceedings. München: SSP; 2000.

Johnson K. Acoustic and auditory phonetics. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing; 2003.

Kent R, Read C. The acoustic analysis of speech. San Diego: Singular Publishing; 1992.

Kent RD. Speech sciences. San Diego: Singular Publishing; 1997.

Ladefoged P, Maddieson I. The sounds of the world's languages. Cambridge/Oxford: Blackwell Publishers; 1996.

Ladefoged P, Epstein M, Hacopian N. Dissection of speech production mechanism. [online]. Los Angeles: UCLA Phonetics Laboratory; 2002. [cited 2005]. Available from: URL: <http://www.linguistics.ucla.edu/people/ladefoge/manual.htm>

Laver J. The phonetic description of voice quality. Cambridge: Cambridge University Press; 1980.

Laver J. Principles of Phonetics. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.

Lindblom B, Sundberg J. Acoustical consequences of lip, tongue, jaw and larynx movement. *J Acoust Soc Am* 1971;50(4):1166-79.

Lindblom B. Phonetic universals in vowel systems. In: Ohala JJ, Jeager JJ (eds). *Experimental phonology*. Orlando: Academic Press; 1986.

Lindbom B. On the notion of “possible speech sound”. *J Phonetics* 1990;18:135-52.

Lindblom B. The status of phonetic gestures. In: *Modularity and the motor theory of speech perception – proceedings of a conference to honor Alvin M Liberman*. Mattingly IG, Studdert-Kennedy M (eds). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates; 1991.

Longemann J. *Evaluation and treatment of swallowing disorders*. Austin: Pro-ed; 1983.

Macedo Filho ED, Gomes GF, Furkim AM. *Manual de cuidados do paciente com disfagia*. São Paulo: Lovise; 2000.

Machado A. *Neuroanatomia funcional*. 2^a ed. Belo Horizonte: Atheneu; 1993.

Machado MM. Fenômenos de nasalização vocálica em português: estudo cine-radiográfico. *Cad Est Ling* 1993;25:113-28.

Madeira MC. *Anatomia da face – bases anátomo-funcionais para a prática odontológica*. São Paulo: Sarvier; 1995.

Mády K, Sader R, Zimmermann A, Hoole P, Beer A, Zeilhofe H, Hannig C. Use of real-time MRI in assessment of consonant articulation before and after tongue surgery and tongue reconstruction. In: *4th International speech motor conference*; 2001; Nijmegen. *Proceedings*. Nijmegen: ISMC; 2001. p.142-5.

Mády K, Sader R, Zimmermann A, Hoole P, Beer A, Zeilhofe H, Hannig C. Assessment of consonant articulation in glossectomee speech by dynamic MRI. In: *International conferences on spoken language processing*; 2002; Denver. *Proceedings*. Denver: ICSLP; 2002.

Masaki S, Tiede MK, Honda K, Shimada Y, Fujimoto I, Nakamura Y, Ninomiya N. MRI-based speech production study using a synchronized sampling method. *J Acoust Soc Jpn* 1999;20(5):375-9.

Master S, Pontes PAL, Behlau MS. Configurações do trato vocal nas vogais nasais do português brasileiro. *Acta AWHO* 1991;10(2):67-75.

Medeiros BR. Descrição comparativa de aspectos fonético-acústicos selecionados da fala e do canto em português brasileiro. Tese de doutorado, UNICAMP; 2002.

Mendes BCA. Estudo fonético acústico das vogais do português brasileiro: dados da produção e percepção de fala de um sujeito deficiente auditivo. Tese de doutorado, PUC/SP; 2003.

Mohammad M, Moore E, Carter JN, Shadle CH, Gunn SJ. Using MRI to image the moving vocal tract during speech. In: *Eurospeech; 1997; Rhodes. Proceedings. Rhodes: ESCA; 1997. p.2027-30.*

Moore KL, Dalley AF. *Anatomia orientada para a clínica*. 4^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2001.

Narayanan S, Alwan A, Haker K. An articulatory study of fricative consonants using magnetic resonance imaging. *J Acoust Soc Am* 1995;98(3):1325-47.

Narayanan S, Alwan A, Haker K. Toward articulatory-acoustic models for liquid consonants based on MRI and EPG data. Part I – the laterals. *J Acoust Soc Am* 1997;101(2):1064-77.

Narayanan S, Nayak K, Lee S, Sethy A, Byrd D. An approach to real-time magnetic resonance imaging for speech production. *J Acoust Soc Am* 2004;115(4):1771-6.

NessAiver MS, Stone M, Parthasarathy V, Kahana Y, Paritsky A. Recording high quality speech during tagged cine-MRI studies using a fiber optic microphone. *J Magnetic Reson Imag* 2006;23(1): 92-7.

Oliveira VL, Pinho SMR. A qualidade da voz e o trato vocal nos indivíduos de face curta e face longa. In: Pinho SMR (org). *Tópicos em voz*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2001.

Perkell JS. Articulatory process. In: Hardcastle WJ, Laver J. *The handbook of phonetic sciences*. Oxford: Blackwell Publishers; 1997.

Pickett JM. Consonants: nasal, stops and fricative manners of articulation. In: Baken RJ, Daniloff RG _____ . *Readings in clinical spectrography of speech*. San Diego: Singular Publishing Group; 1991.

Pinho SMR, Pontes PAL, Abílio SO, Ganança MM. Configurações do trato vocal nas vogais orais do português. *Acta AWHO* 1988;7(2):124-36.

Pontes E. *Estrutura do verbo no português coloquial*. Rio de Janeiro: Vozes; 1972.

Raposo B, Demolin D. Vogais nasais do português brasileiro: um estudo de IRM. In: IV Congresso Internacional da ABRALIN e XVII Instituto Brasileiro de Linguística; 2005; Brasília. *Anais*. Brasília: ABRALIN; 2005.

Shadle CH, Tiede M, Masaki S, Shimida Y, Fujimoto I. Articulatory effects of vowel context on fricatives: an MRI study. *J Acoust Soc Am* 1996;100(4):2660.

Shimada Y, Fujimoto I, Takemoto H, Takano S, Masaki S, Honda K, Takeo K. 4D-MRI using the synchronized sampling method (SSM). *J Radiol Technol* 2002;58(12):1592-8.

Silva TC. Fonética e fonologia do português brasileiro: roteiro de estudos e guia de exercícios. São Paulo: Contexto; 2002.

Souza EMG. Para a caracterização fonético-acústica da nasalidade no português do Brasil. Dissertação de mestrado, UNICAMP; 1994.

Stevens KN. On quantal nature of speech. J Phonetics 1989;17:3-45.

Stevens KN. Acoustic phonetics. London: MIT Press; 1998.

Stone M. Laboratory techniques for investigating speech articulation. In: Hardcastle WJ, Laver J. The handbook of phonetic sciences. Oxford: Blackwell Publishers; 1997.

Stone M, Davis EP, Douglas AS, NessAiver M, Gullapalli R, Levine WS, Lundberg A. Modeling the motion of the internal tongue from tagged cine-MRI images. J Acoust Soc Am 2001;109(6):2974-82.

Story BH, Titze IR, Hoffman EA. Vocal tract area functions from magnetic resonance imaging. J Acoust Soc Am 1996;100(1):537-54.

Story BH, Titze IR, Hoffman EA. Vocal tract area functions for an adult female speaker based on volumetric imaging. J Acoust Soc Am 1998;104(1):471-87.

Tessler M. Exames complementares por imagem e diagnóstico computadorizado. In: Bianchini EMG (org). Articulação temporomandibular: implicações, limitações e possibilidades fonoaudiológicas. Carapicuíba: Pró-Fono; 2000.

Vadodaria S, Goodacre TE, Anslow P. Does MRI contribute to the investigation of palatal function? Br J Plast Surg 2000;53(3):191-9.

Wein BB, Drobnitzky M, Klajman S, Angerstein W. Evaluation of functional positions of tongue and soft palate with MRI: initial clinical results. *J Magnetic Reson Imag* 1991;1(3):381-3.

Yamawaki Y, Nishimura Y, Suzuki Y, Sawada M, Yamawaki S. Rapid magnetic resonance imaging for assessment of velopharyngeal muscle movement on phonation. *Am J Otolaryngol* 1997;18:210-3.

Yang B. Measurement and synthesis of the vocal tract of korean monophthongs by MRI. In: 14th International congress of phonetic sciences; 1999; San Francisco. Proceedings. San Francisco: ICPHS; 1999. p.2005-8

Zemlin WR. Princípios de anatomia e fisiologia em fonoaudiologia. 4^a ed. Porto Alegre: Artes Médicas; 2005.

Bibliografia consultada

Documento oficial 02/2002. Comitê de Motricidade Oral da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. São Paulo: SBFa; 2002.

Rother ET, Braga MER. Como elaborar sua tese: estrutura e referências. São Paulo; 2001.