

O uso do magnetômetro (EMA) na análise de dados articulatórios da prosódia da fala

Alexsandro Rodrigues Meireles
Universidade Federal do Espírito Santo

1 O magnetômetro (EMA1)

O objetivo deste capítulo é explicar didaticamente como o magnetômetro (ou articulógrafo) funciona para aquisição de dados articulatórios em prosódia da fala. Para uma informação técnica sucinta de como o magnetômetro funciona, vejamos o resumo abaixo de Marino (2002):

Esta técnica, conhecida como articulografia eletromagnética (eletromagnetic articulography EMA), utiliza dispositivos de campo magnético alternativo que permitem monitorar movimentos de pontos onde os sensores se encontram fixados nos articuladores em relação ao tempo. Dentre os sistemas comercialmente disponíveis no mercado têm-se o Articulógrafo AG 100 (Cartens, Alemanha). Este sistema é constituído por três bobinas geradoras que são fixadas em um capacete especialmente construído para esse fim. Quando dispostas em posição fixa ao longo do plano médiosagital, cada uma das bobinas gera seu próprio campo magnético alternativo de alta frequência. Um conjunto de pequenas bobinas receptoras são aderidas temporariamente nos articuladores de interesse (lábios, língua, mandíbula, e/ou véu palatino) por meio de uma cola especial. Como em um transformador, os campos magnéticos alternativos das bobinas geradoras induzem tensão elétrica nas bobinas receptoras. A tensão elétrica induzida em cada uma das

1 Também encontramos na literatura a sigla EMMA (*eletromagnetic midsagittal articulo-meter*, Perkell et al., 1992). No entanto, a sigla mais comum encontrada atualmente nos artigos é EMA (*eletromagnetic articulometer*).

bobinas receptoras é inversamente proporcional ao cubo de sua distância em relação às bobinas geradoras. Tais bobinas operam em frequências diferentes e geram campos magnéticos que se sobrepõem, portanto, o sistema é capaz de captar, simultaneamente, a distância entre cada bobina receptora e as bobinas geradoras (BAKEN; ORLIKOFF, 2000).

O articulógrafo foi desenvolvido inicialmente pela empresa alemã Cartens que produziu o Articulógrafo AG 100 citado por Marino (2002) e, posteriormente, os Articulógrafos 2-D AG 200 e 3-D AG 500. Recentemente, desenvolveram ainda os Articulógrafos 3-D AG501 e 3-D AG501 *twin*, os quais podem extrair informações articulatórias em três dimensões. Informações detalhadas do produto podem ser obtidas no seguinte website: <http://www.articulograph.de/>.

Devido ao seu custo e aplicação específica no mercado, somente encontramos esse equipamento em algumas universidades ao redor do mundo. Mesmo nos Estados Unidos, encontramos esse equipamento em poucas universidades, tais como: University of Southern Califórnia (USC), University of California at Los Angeles (UCLA), University of Connecticut, Haskins Laboratories, University of Texas at Dallas. Para outras universidades do mundo que utilizam o sistema da Cartens, visitar http://www.articulograph.de/?page_id=26. No Brasil, não há nenhuma universidade que utilize o equipamento dessa empresa.

Ao realizar meu doutorado-sanduíche na USC em 2004, tive a oportunidade de ser um dos primeiros brasileiros a ter contato com essa técnica articulatória de análise. A Figura 1 é uma foto de um articulógrafo do mesmo modelo usado por mim nessa universidade, com vários sensores colocados na língua, nariz, e mandíbula. Essa foto foi obtida no endereço www.phon.ox.ac.uk/~paula/emahome.html.

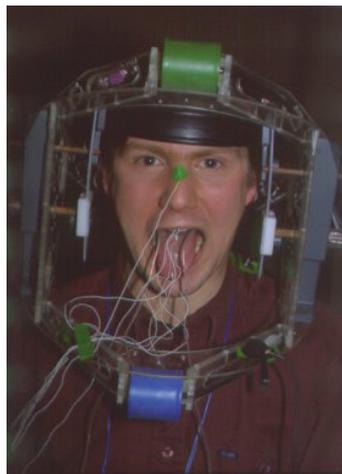


Figura 1 Exemplo de um Articulógrafo 2-D AG-200 utilizado em meus experimentos na USC.

A partir de 2009, a empresa Northern Digital Inc. (NDI, <http://www.ndigital.com>), do Canadá, em parceria com os foneticistas da USC, desenvolveu um sistema de articulografia eletromagnética (EMA) tão eficiente quanto o da Carstens, porém bem mais barato do que o da empresa alemã. Além disso, o sistema era bem mais simples de se utilizar, não era necessário calibragem do equipamento e dispensava o uso do capacete enorme mostrado na Figura 1.

Também em 2009, pelo edital Pró-Equipamentos CAPES 2009, recebemos verba para adquirir um articulógrafo e, sob aconselhamento da Dra. Dani Byrd, da USC, compramos o equipamento da NDI WAVE. Esse equipamento encontra em pleno funcionamento no Laboratório de Fonética do Programa de Pós-Graduação em Linguística da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEL-UFES) e está disponível para utilização a todos os membros da comunidade acadêmica do Brasil, segundo normas de utilização multiusuário previstas no projeto da CAPES. Até a presente data, o equipamento já foi utilizado por pesquisadores da UNICAMP e da UFPA. Descrevemos, a seguir, as especificações técnicas do equipamento.

2 O articulógrafo da NDI WAVE

O equipamento WAVE da empresa canadense NDI funciona semelhantemente ao equipamento da Carstens, no entanto, com um custo-benefício melhor. De acordo com informações constantes no site da empresa e em seu manual de utilização (<http://www.ndigital.com/msci/products/wave-speech-research/>), o articulógrafo eletromagnético WAVE mede o posicionamento tridimensional de microsensores (Figura 2) fixados na língua, palato, lábios e face para rastreamento de movimentos orofaciais. As medidas são capturadas em tempo real, sem a necessidade de outros aparatos tecnológicos. Caso o laboratório possua dois geradores de campo (*field generator*), há ainda a possibilidade de se gravar um diálogo. As altas precisão temporal e resolução espacial permitem que os movimentos mais rápidos e mais sutis sejam gravados. A resolução temporal dos equipamentos vendidos vai de 100 Hz (nosso equipamento) até 400 Hz. Ressalto que 100 Hz já é uma boa resolução para captura de dados articulatórios, possibilitando até a captura de sons do português como a vibrante simples [r].



Figura 2 Exemplo de um microsensor utilizado na captura de dados articulatórios.

Segundo o manual do WAVE, o gerador de campo produz campos eletromagnéticos que cobrem um volume fixo para medições de dados articulatórios, correspondente a um cubo de 500 mm. O volume é projetado para fora da parte frontal do gerador de campo, a partir de 40 mm do gerador de campo, conforme pode ser visto na Figura 3.

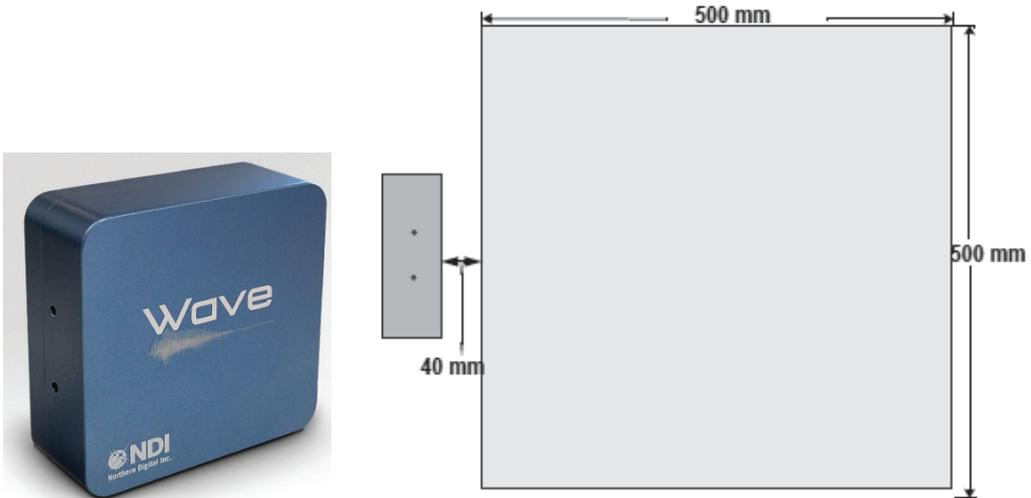


Figura 3 Gerador de campo WAVE (esquerda) e campo magnético (direita).

É possível utilizar até 16 sensores com um único gerador de campo. No entanto, quanto mais sensores utilizamos na captura de dados, mais desconfortável é para o falante produzir os enunciados, devido à quantidade de fios que saem de sua boca. Por exemplo, em um de nossos experimentos, utilizamos 4 sensores dentro da boca (ponta de língua, corpo de língua, dorso de língua, dentes incisivos inferiores), 2 sensores de referência (orelha direita, orelha esquerda) e 2 sensores nos lábios (lábio superior, lábio inferior). Com isso, temos muitos fios grudados na boca do informante, semelhantemente à configuração de fios vista na Figura 1.

O programa WaveFront da NDI é utilizado para a captura simultânea de dados articulatórios e acústicos e também para *playback* (Figura 4). A janela principal mostra o cubo virtual de 500 mm x 500 mm. A localização e o *status* de cada sensor conectado são apresentados em tempo real com cores e formatos diferentes. Cada sensor é identificado com sua porta e canal específicos no sistema, bem como suas coordenadas x, y e z, relacionadas à origem do sistema de coordenadas ou à referência global em que foram configuradas. Os dados articulatórios são salvos com a extensão *.wco* (*wave collection*, i.e., coleção de dados necessários para o *playback* dos dados articulatórios) e *.wav*. Também é possível especificar a saída de dados com um terceiro grupo de dados com a

O uso do magnetômetro (EMA) na análise de dados articulatórios da prosódia da fala

extensão .tsv (planilha de dados com informações de movimentação espacial dos sensores). Esse arquivo .tsv é utilizado pelo programa MAVIS para a análise quantitativa dos dados articulatórios.

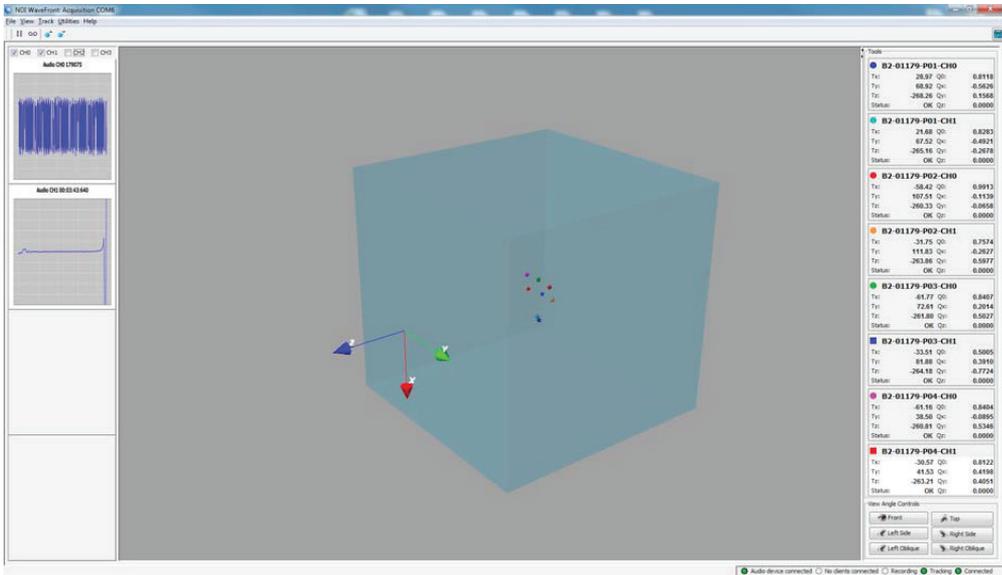


Figura 4 Exemplo da janela de captura do programa WaveFront com seu eixo tridimensional e, nesse caso, oito sensores sendo gravados.

3 Análises articulatório-quantitativas no programa MAVIS²

Os dados articulatórios obtidos com o uso do magnetômetro não estão prontos para análise. Para isso, deveríamos convertê-los, através de rotinas no programa Matlab (www.mathworks.com). Antes desta conversão, porém, a fim de facilitar nossa análise, elaboramos ainda um script da linguagem de programação Perl (apêndice A.4), o qual renomeia os arquivos brutos originais. Após este processo, obtivemos os arquivos prontos para análise. A seguir, com o intuito de elucidar os métodos de análise utilizados, faremos uma descrição sucinta do MAVIS.

O programa MAVIS (TIEDE et al., 1999) foi elaborado pelo Dr. Mark Tiede (atual cientista sênior do Haskins Laboratories), no ATR Research Laboratories,

2 O texto aqui apresentado é uma adaptação atualizada das informações apresentadas para análise articulatória de dados prosódicos de minha tese de doutorado (MEIRELES, 2007).

em Kioto, Japão. Como o próprio nome diz, MAVIS (*Multiple Articulator Visualizer*) é um visualizador de múltiplos articuladores em simultaneidade. Em outras palavras, tem a função de visualizar vários articuladores ao mesmo tempo, como ponta de língua, dorso de língua, mandíbula, entre outros.

Como consta nas informações do programa, MAVIS é um conjunto de funções integradas do Matlab úteis para visualizar dados de movimentos sincronizados, como os gerados por métodos de rastreamento da fonte de um ponto, como o magnetômetro (EMA), OPTOTRAK, ou sistema de microfios de raios-x. Provê apresentação simultânea de trajetórias variantes no tempo e sua distribuição espacial em um contrabalanceamento temporal, que pode ser incrementado automaticamente para vários efeitos de animação.

MAVIS também permite a apresentação de informações estáticas como o traçado do palato ou dados de imagem, e fornece suporte para procedimentos tanto internos quanto requeridos pelo usuário (Figura 5).

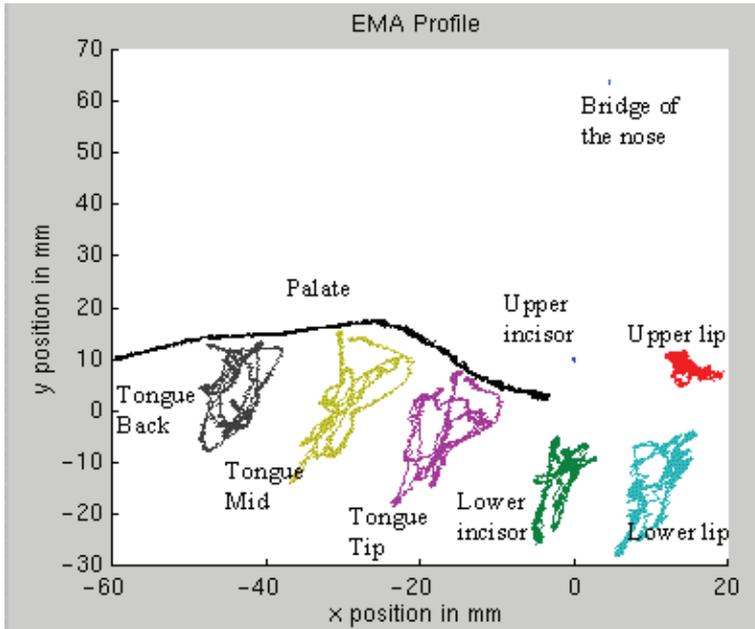


Figura 5 Representação de vários traçados possíveis com o magnetômetro: referência do nariz, palato, dentes incisivos superiores e inferiores, lábios inferiores e superiores, ponta de língua, parte central da língua (www.phon.ox.ac.uk/~paula/emahome.html).

Para uma apresentação sucinta das funcionalidades do MAVIS, vejamos a análise da Figura 6, obtida quando digitamos “mavis” dentro do programa MATLAB. Observamos que, o programa MAVIS, por não ser nativo ao MATLAB, deve estar em dos PATHs do MATLAB para que tal comando funcione.

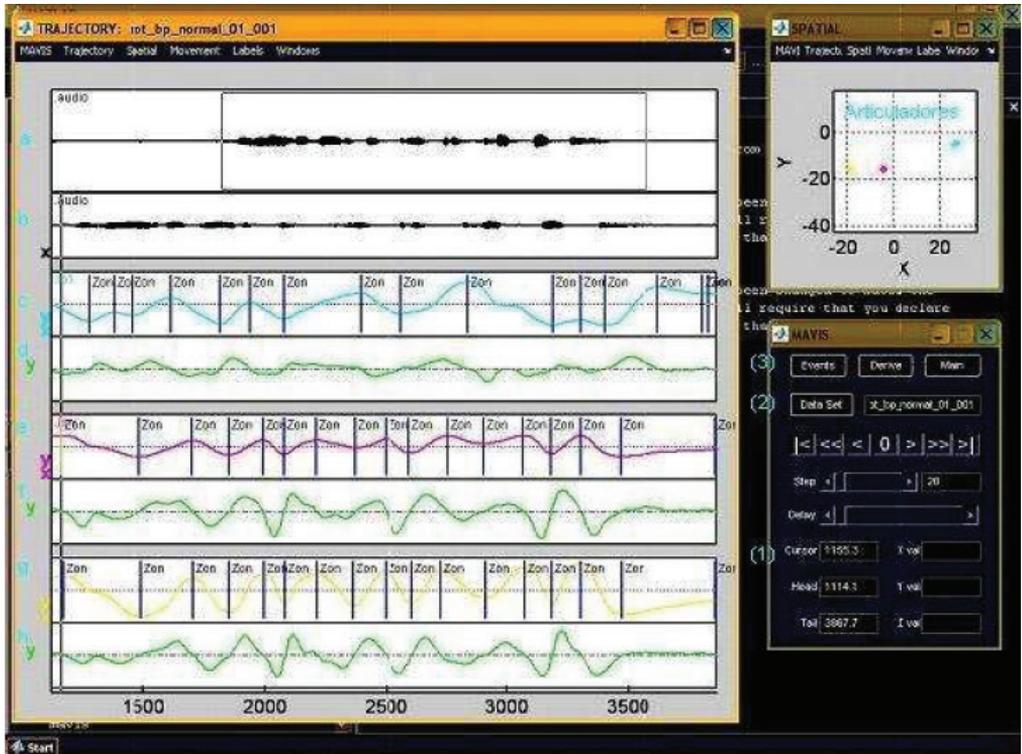


Figura 6 Janela do MAVIS com todas suas funcionalidades no MATLAB.

Na Figura 6, temos, de cima para baixo: a) onda sonora completa; b) onda sonora selecionada pelo usuário; c) movimento articulatório do corpo da língua; d) velocidade (eixo vertical) de deslocamento do corpo da língua; e) movimento articulatório da mandíbula; f) velocidade (eixo vertical) de deslocamento da mandíbula; g) movimento articulatório dos lábios inferiores; h) velocidade (eixo vertical) de deslocamento dos lábios inferiores. Nas duas janelas à direita, temos: 1) parte superior (janela SPATIAL): disposição cartesiana dos três articuladores empregados no experimento 1: a) lábios (amarelo); b) mandíbula (roxo); c) corpo da língua (azul claro); 2) parte inferior (janela MAVIS): informações temporais de posicionamento dos gestos articulatórios (1 na Figura 6), nome do arquivo aberto (2 na Figura 6), e recursos adicionais (3 na Figura 6), como “Events”, “Derive”³.

A fim de compreendermos como são delimitados os gestos articulatórios, conforme especificado pela Fonologia Articulatória (BROWMAN e GOLDSTEIN, 1992), podemos notar que para delimitarmos articulatoriamente a palavra “pavê”

3 Para um detalhamento mais aprofundado dos procedimentos de análise no MAVIS vide o capítulo 4 de Meireles (2007).

da Figura 7, por exemplo, precisamos ter informações não somente da velocidade zero (correspondente, aproximadamente, ao ponto de máxima excursão do gesto), mas também de picos (velocidade máxima) e vales (velocidade mínima) dos mesmos. Com essas informações podemos delimitar o gesto⁴, como fizemos na Figura 7.

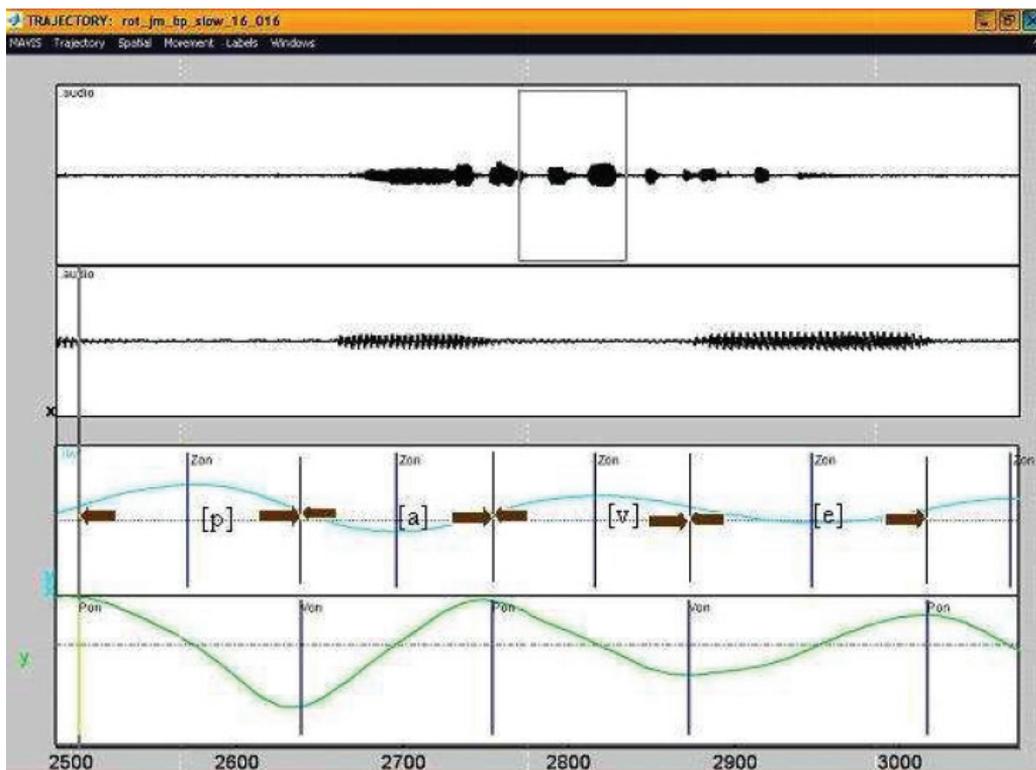


Figura 7 Delimitação dos gestos articulatórios para a palavra “pavê” medidas entre intervalos de velocidade no eixo vertical (y, traçado verde), conforme podemos ver entre as setas marrons.

Por fim, após delimitarmos todos os gestos articulatórios do corpus, salvamos seus respectivos valores e obtínhamos como resultado um arquivo .tsv pronto para análise em planilhas eletrônicas, como o Excel. Um exemplo desse arquivo é apresentado na tabela 1.

4 Aqui o gesto articulatório foi delimitado entre Pon (*peak velocity onset*) e Von (*valley velocity onset*). Outra forma de delimitar o gesto articulatório na literatura é entre Zon (*zero velocity onset*) e Zon (*zero velocity onset*).

Tabela 1 Informações temporais (zeros da velocidade no eixo y) e espaciais (informações do deslocamento no eixo vertical) do gesto mandíbula, juntamente com a referência segmental.

SIGNAL 3:	rot-jm-bp-slow-16-016.jaw.VEL(:,2)
Zero (tempo)	Info (deslocamento no eixo vertical)
1590.39	-17.0645
2005.53	-26.298
2285.625	-17.7774
2410.667	-22.4168
2570.721	-17.2356 p
2695.763	-21.5551 a
2815.803	-18.2515 v
2945.847	-20.7704 e
3065.888	-18.533
3180.926	-22.2437

4 Medidas articulatório-quantitativas de dados prosódicos

Descreveremos aqui algumas das medidas articulatórias utilizadas em nossas pesquisas sobre o ritmo da fala (MEIRELES; BARBOSA, 2008, 2009, 2014), as quais foram baseadas na pesquisa sobre o gesto prosódico (*π -gesture*) da Dra. Dani Byrd (BYRD; SALTZMAN, 2003), a fim de exemplificar quantitativamente algumas das possíveis medidas obtidas pela técnica EMA.

As seguintes variáveis articulatórias foram medidas em minha pesquisa de doutorado: (a) deslocamento da mandíbula: medido no cruzamento em zeros da velocidade-y; (b) deslocamento da constrição da mandíbula: medido como a diferença entre os cruzamentos em zero no início e no extremo da constrição; (c) duração (relacionada à acústica) do gesto mandíbula: medida pelo intervalo entre velocidades de máxima (positiva) e mínima (negativa); (d) duração do gesto mandíbula: medida entre os cruzamentos em zero da velocidade-y entre o início e o máximo da constrição; (e) velocidades de pico e vale da constrição do gesto mandíbula; (f) duração da aceleração da mandíbula; (g) tempo-para-velocidade-de-pico proporcional: medido do quociente entre duração da aceleração da mandíbula (eixo y) e duração da formação da constrição. Na Figura 8, temos uma descrição visual das medidas articulatórias aqui relatadas (MEIRELES, 2007, 2009).

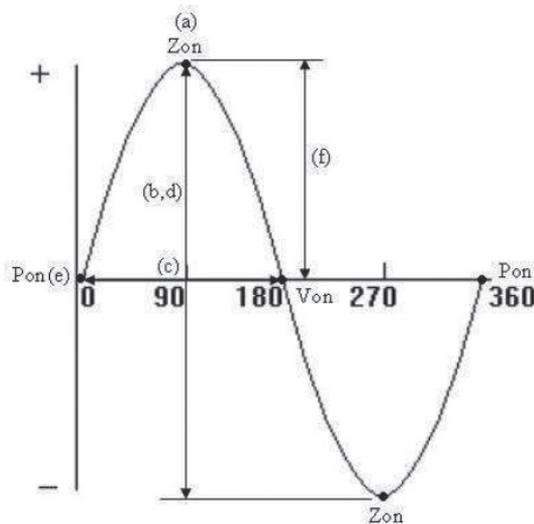


Figura 8 Representação abstrata das medidas articulatórias realizadas para o experimento acústico prosódico. Von representa, onset do vale de velocidade (velocidade negativa); Pon, onset do pico de velocidade (velocidade positiva); e Zon, onset dos zeros de velocidade. O intervalo de 0 a 90 graus representa um trecho do movimento de fechamento do gesto até a constrição máxima (a), considerando-se uma consoante. O intervalo de 90 a 270 graus representa a abertura de um gesto consonantal. Temos aqui representados: (a) deslocamento da mandíbula, medido no cruzamento em zeros da velocidade y (valor pontual); (b) deslocamento da constrição da mandíbula, medido como a diferença entre os cruzamentos em zero no início (a) e no extremo (270 graus) da constrição, considerando-se um gesto vocálico; (c) duração (relacionada ao acústico) do gesto mandíbula, medida pelo intervalo entre velocidades máxima (Pon) e mínima (Von); (d) duração do gesto mandíbula, medida entre os cruzamentos em zero da velocidade-y entre o início e o máximo da constrição; (e) velocidades de pico (Pon) e vale (Von) da constrição do gesto mandíbula (valor pontual); (f) duração da aceleração da mandíbula: positiva (270 a 360 graus) e negativa ((a) a 180 graus). O tempo-para-velocidade-de-pico proporcional é medido do quociente entre a duração da aceleração da mandíbula (f) e duração da formação da constrição (d) (MEIRELES, 2007, p.188).

Com base nos resultados articulatórios apresentados acima, propomos as seguintes fontes cinemáticas de reestruturações rítmicas com o aumento da taxa de elocução (cf. Figura 9, MEIRELES, 2007, p. 202): a) diminuição da duração da aceleração, i.e., aumento da rigidez; b) diminuição do deslocamento vertical máximo; c) diminuição do deslocamento do gesto de constrição; d) diminuição (em módulo) das velocidade de pico e vale; e) diminuição da duração articulatória; e f) tempo-para-velocidade-de-pico proporcional permanece constante. Outra fonte cinemática de reestruturação rítmica (não relacionada à mudança da taxa de elocução) é a diminuição de tempo-para-velocidade-de-pico proporcional de vogais tônicas comparadas com as átonas.

De acordo com essas fontes, espera-se uma diminuição geral de parâmetros articulatórios da taxa lenta à rápida. A Figura 9a representa um encurtamento

articulatório causado por uma mudança na rigidez (cf. SALTZMAN; MUNHAL, 1989), que é indicado por uma duração da aceleração mais curta. A Figura 9b exibe deslocamento vertical máximos menores causados por uma posição menos aberta da mandíbula (vogais baixas) ou menos fechada (vogais altas ou meio-altas), que podem ser entendidas como um *undershoot* do gesto. Relacionada com a Figura 9b está a Figura 9c que representa uma menor diferença de deslocamento-y nas posições inicial e final do gesto. Se se espera menores deslocamento vertical máximos, também se espera menores deslocamentos da constrição nas taxas rápidas. A Figura 9d mostra uma diminuição (em módulo) da velocidade de pico e/ou vale da taxa lenta à rápida. Esta hipótese pode ser explicada pelo fato de que, para se alcançar uma grande velocidade de pico e depois uma velocidade zero na mudança do movimento (a mandíbula sobe e desce), é necessária uma maior distância, que pode ser encontrada em taxas lentas, não rápidas. A Figura 9e é meramente uma consequência das fontes cinemáticas anteriores, i.e., a diminuição da duração articulatória (tanto AT quanto medida entre velocidades de picos e vales). Por fim, a Figura 9f mostra que o tempo-para-velocidade-de-pico proporcional permanece constante com o aumento da TE.

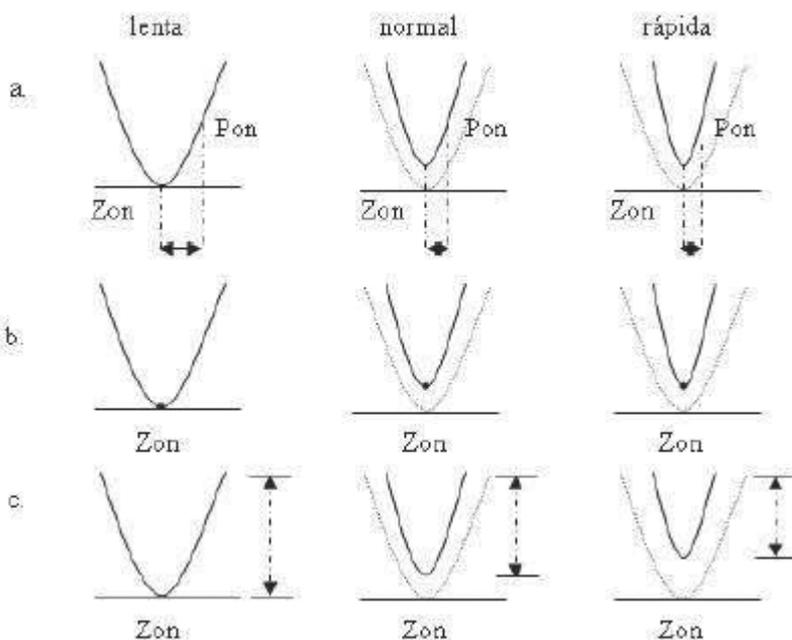


Figura 9 Fontes cinemáticas de reestruturas rítmicas com o aumento da TE: a. diminuição da duração da aceleração, i.e., aumento da rigidez; b. diminuição do deslocamento vertical máximo; c. diminuição do deslocamento do gesto de constrição; d. diminuição (em módulo) da velocidade de pico; e. diminuição da duração articulatória (tanto medida entre velocidades de pico quanto entre zeros); f. tempo-para-velocidade-de-pico proporcional permanece constante (Meireles, 2007:202). (continua)

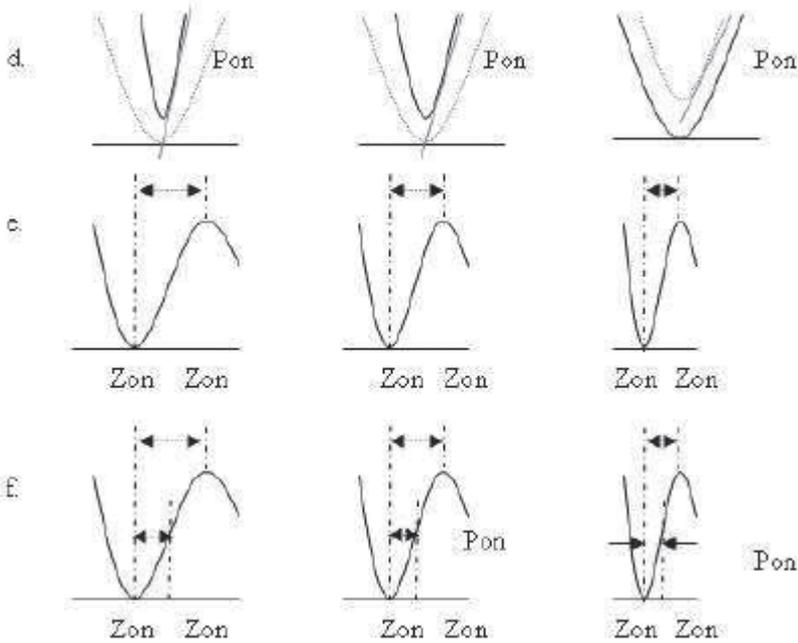


Figura 9 Fontes cinemáticas de reestruturções rítmicas com o aumento da TE: a. diminuição da duração da aceleração, i.e., aumento da rigidez; b. diminuição do deslocamento vertical máximo; c. diminuição do deslocamento do gesto de constrição; d. diminuição (em módulo) da velocidade de pico; e. diminuição da duração articulatória (tanto medida entre velocidades de pico quanto entre zeros); f. tempo-para-velocidade-de-pico proporcional permanece constante (Meireles, 2007:202). (continuação)

5 Considerações finais

Apresentamos neste capítulo uma introdução geral para a utilização da técnica EMA para a análise de dados prosódicos. Como podemos notar, este texto não tem a intenção de ser uma discussão exaustiva do tema e sim de ser uma primeira aproximação com esse tipo de pesquisa. Concluindo, gostaríamos de apresentar um detalhe metodológico importante na aquisição dos dados articulatórios para depois apresentar alguns textos importantes para um aprofundamento do tema.

Diferentemente da aquisição de dados acústicos, a aquisição de dados articulatórios requer um tratamento muito mais cuidadoso, pois, do contrário, não conseguimos delimitar os gestos articulatórios e, assim, não conseguiremos fazer as medidas articulatórias necessárias. Como pudemos perceber nas explicações do gesto articulatório apresentadas nas figuras 6-9, a delimitação deste depende de uma forma de onda quase-senoidal, pois, se não houver uma movimentação articulatória ampla, o algoritmo de detecção automática de softwares como MAVIS e

MVIEW⁵ não consegue delimitá-lo. Por esse motivo, não é qualquer sentença que pode ser utilizada na detecção dos dados articulatórios com EMA e também com a técnica de ressonância magnética (MRI). Como exemplo de uma sentença gravada com o equipamento WAVE que não tinha uma alternância ampla no espaço articulatório oral, observemos a Figura 10.

Na Figura 10, abaixo do espectrograma há uma linha verde intitulada TB (*tongue body* [parte média da língua]). Como podemos observar na parte inferior deste articulador (verde claro) não há uma senoide muito bem definida. Apresenta-se praticamente como uma linha reta com algumas irregularidades. Sendo assim, as medidas articulatórias para esse parâmetro estão comprometidas, pois a detecção automática do MVIEW não funciona para delimitar os vários gestos articulatórios presentes nessa sentença. Lembramos que cada segmento fonético é um gesto articulatório. Esse problema para detecção dos gestos articulatórios, deve-se ao não-controle dos movimentos articulatórios por parte do pesquisador.

Como exemplo de desenho experimental, descrevo aqui os procedimentos adotados para coletar dados para minha pesquisa de doutorado (MEIRELES, 2007). Nessa pesquisa, pretendíamos utilizar neste experimento as mesmas sentenças utilizadas num estudo acústico anterior, porém percebemos que, devido à enorme variabilidade articulatória nesses dados, não poderíamos utilizar nem as mesmas sentenças nem as mesmas palavras usadas em estudos acústicos anteriores (publicados posteriormente como MEIRELES; BARBOSA, 2008, 2009, 2014).

Como exemplo desta impossibilidade ou impraticabilidade de gravação, cito a sentença “Há três tipos de abóbora em Belo Horizonte”. Observamos que, para esta sentença, temos, entre outras, as vogais [a, e, i, u, ɔ, o, ê, õ], ou seja [a] = vogal posterior faringal, [e, i] vogais anteriores, [u, ɔ, o] = vogais posteriores arredondadas, [ê, õ] = vogais nasais. Para trabalhar com essa sentença, teríamos, pois, no mínimo, três sensores para a língua: um na parte posterior-faringal, outro na parte posterior, e outro na parte anterior da língua. Além disso, precisaríamos de um sensor no véu palatino, local problemático devido à ocorrência de ânsia de vômito.

5 Um conjunto de *scripts* do Matlab desenvolvido por Mark Tiede no Haskins Labs. Este pesquisador foi o mesmo que desenvolveu o MAVIS, que, serviu de base para o MVIEW. Para uma descrição de utilização do MVIEW consultem o manual disponível em http://www.haskins.yale.edu/staff/gafos_downloads/ArtA3DEMA.pdf.

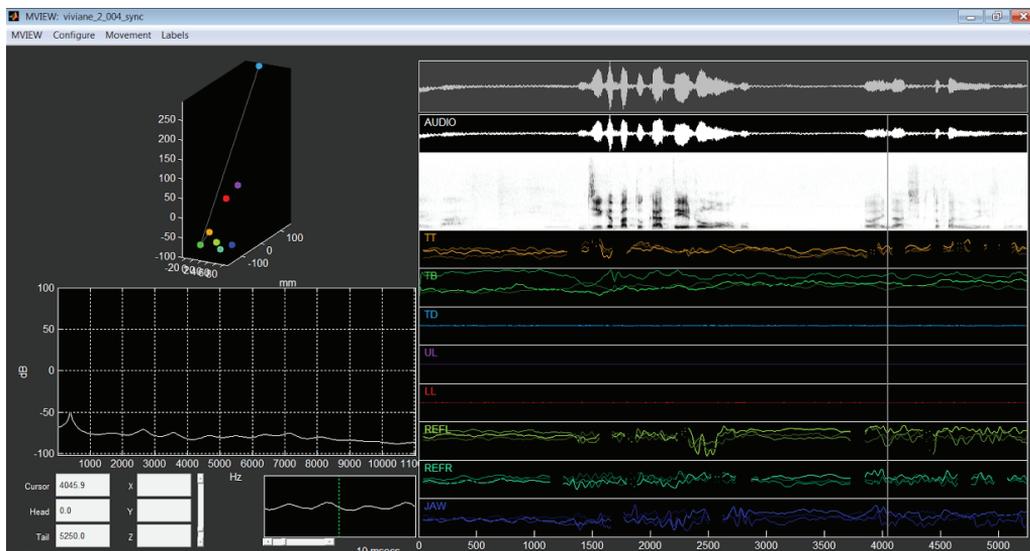


Figura 10 Exemplo de uma sentença não controlada articulatoriamente visualizada no MVIEW.

Tendo em vista a necessidade de se ter um corpus bem controlado articulatoriamente, a fim de se evitar ruídos articulatórios posteriores, elaboramos um desenho experimental em que as sentenças possuíam um padrão alternante de mandíbula aberta e fechada durante todo o enunciado. Por essa razão utilizamos uma sequência de vogais altas (ou média-altas) e vogais baixas do começo ao fim da sentença e também consoantes bilabiais nas fronteiras frasais previstas (MEIRELES, 2007). Esse procedimento de alternância de vogais altas e baixas deve ser seguido sempre que formos adquirir dados articulatórios, a fim de não prejudicarmos nossas análises articulatórias posteriores. Descrevemos sucintamente alguns artigos relevantes para a prosódia da fala que utilizaram dados de EMA e que podem ser gratuitamente encontrados na *internet*.

Byrd e Saltzman (1998) utilizaram dados de magnetômetro de 3 sujeitos, a fim de determinar se múltiplos níveis de fronteiras prosódicas podiam ser distinguidos no padrão espaço-temporal da articulação e se esses padrões seriam consistentes com um abaixamento da rigidez (*stiffness*) gestual. A modelagem empregada sugere que, embora o abaixamento da rigidez gestual seja a principal fonte de alongamento, outro parâmetro – o tempo de subida para a ativação gestual – também é necessário.

O artigo de Byrd et al. (2000) examinou o padrão espacial e temporal de gestos articulatórios orais em função da estrutura frasal para sequências de duas consoantes nasais em Tamil. Os resultados mostram que a estrutura prosódica é manifestada nos detalhes da articulação. A natureza precisa, contudo, dos efeitos frasais tanto na coordenação temporal inter-gestos quanto na magnitude e duração gestual permanecia um questão aberta à época.

Aprofundando os estudos sobre os efeitos da prosódia na articulação, Byrd e Saltzman (2003) examinaram a relação entre estrutura frasal e o controle e coordenação da articulação em um modelo de sistemas dinâmicos na produção da fala. Nesse artigo é apresentada a noção de gesto prosódico, que atua em fronteiras prosódicas para esticar ou encolher temporalmente as trajetórias de ativação gestual. Segundo os autores, entender fronteiras frasais como uma distorção do tecido temporal de um enunciado representa um confluência promissora entre os campos da prosódia e da dinâmica da fala.

Além de artigos na área de coordenação temporal da fala, também encontramos na literatura trabalhos que procuram mostrar a influência da emoção na coordenação gestual. Lee e Narayanan (2012), por exemplo, investigaram os efeitos da emoção nos movimentos dos lábios inferiores na produção de palavras monossilábicas em dois diferentes contextos prosódicos: início e final de enunciado. Os resultados encontrados mostram que a rigidez dos gestos de abertura do lábio inferior são quase invariantes sob variações emocionais, implicando que o gesto lábio inferior é regulado por um oscilador harmônico simples com uma rigidez constante.

Por fim, gostaria de salientar que, devido à sua especificidade técnica, controle de articuladores supralaríngeos, a maioria dos estudos com EMA na literatura fonética são feitos com dados segmentais e, portanto, são poucos os trabalhos realizados em prosódia da fala. Assim, há um vasto campo de pesquisa ainda a ser explorado na utilização do magnetômetro em dados prosódicos.

Referências

- BROWMAN, C.; GOLDSTEIN, L. Articulatory phonology: an overview. *Phonetica*, v. 49, p. 155-180, 1992.
- BYRD, D.; SALTZMAN, E. Intra-gestural dynamics of multiple prosodic boundaries. *Journal of Phonetics*, v. 26, p. 173-199, 1998.
- BYRD, D.; KAUN, A.; NARAYANAN, S.; SALTZMAN, E. Phrasal signatures in articulation. In: BROE, M. B.; PIERREHUMBERT, J. B. (Ed.). *Papers in Laboratory Phonology V: Acquisition and the Lexicon*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, p. 70-87, 2000.
- BYRD, D.; SALTZMAN, E. The elastic phrase: modeling the dynamics of boundary-adjacent lengthening. *Journal of Phonetics*, v. 31, p. 149-180, 2003.
- LEE, S. e NARAYANAN, S. Effects of Emotion on the Lower Lip Movements at Phrase Boundaries. *Proceedings of Speech Prosody 2012*, Shanghai, 2012.

- MARINO, V. C. C. Avaliação instrumental da fala: articulografia. In: IX Jornada Fonoaudiológica - Prof. Mariza Ribeiro Feniman, 2002, Bauru. *IX Jornada Fonoaudiológica - Prof. Mariza Ribeiro Feniman*. [S.l.: s.n.], p. 24-24, 2002.
- MEIRELES, A. Reestruturações rítmicas da fala no português brasileiro. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brazil, 2007.
- MEIRELES, A. R. Self-organizing rhythms in Brazilian Portuguese: speech rate as a system perturbation. Alemanha: VDM Verlag, 2009.
- MEIRELES, A. R.; BARBOSA, Plínio Almeida . Lexical reorganization in Brazilian Portuguese: an articulatory study. *Speech Communication*, v. 50, p. 916-924, 2008.
- MEIRELES, A. R.; BARBOSA, Plínio Almeida. O papel da taxa de elocução nos processos dinâmicos de mudança lingüística. *Revista (con) textos lingüísticos (UFES)*, v. 3, p. 91-116, 2009.
- MEIRELES, A. R.; BARBOSA, Plínio Almeida . Articulatory Reorganizations of Speech Rhythm due to Speech Rate Increase in Brazilian Portuguese. In: *Speech Prosody 2014*, 2014, Dublin, Irlanda. Proceedings of Speech Prosody 2014, 2014.
- PERKELL, J., COHEN, M., SVIRSKY, M., MATTHIES, M., GARABIETA, I., JACKSON, M. Electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech articulatory movements. *Journal of the Acoustical Society of America*, 3078-3096, 1992.
- TIEDE, M.K., VATIKIOTIS-BATESON, E., HOOLE, P., YEHIA, H. Technical Report 1999. Kyoto, Japan: ATR Human Information Processing Labs. *Magnetometer data acquisition and analysis software for speech production research*, 1999.