

Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE A ATIVIDADE
ELETROMIOGRÁFICA DE MÚSCULOS DA FACE E O
MOVIMENTO FACIAL DURANTE A FALA

Vívian Garro Brito de Araújo

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas
Gerais como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Hani Camille Yehia

Belo Horizonte

14 de dezembro de 2009

Aos meus pais, pelo amor incondicional e apoio;
Alexandro, fonte de sabedoria e força; William,
pelo carinho; meu marido Emerson, inspiração da
minha vida. A Deus, por tudo.

Agradecimentos

Agradeço à orientação do professor Hani Camille Yehia, ao professor Carlos Júlio Tierra-Criollo por ter, gentilmente, cedido os equipamentos para aquisição dos dados eletromiográficos utilizados neste trabalho. Agradeço ao meu irmão Alexandro pela inestimável ajuda, aos amigos do CEFALA, principalmente à Damares Plácido e ao Bruno Nascimento, e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta pesquisa.

Resumo

Atualmente, exames complementares como a eletromiografia de superfície começaram a fazer parte de avaliações clínicas, uma vez que permitem a realização de um diagnóstico mais preciso e uma conduta terapêutica mais objetiva. Este trabalho objetiva analisar a atividade eletromiográfica de músculos periorais e a trajetória do movimento facial durante a fala, bem como a correlação entre os mesmos. A hipótese testada se baseia na possibilidade de caracterização gesto-eletromiográfica de músculos da face a partir da medição simultânea da eletromiografia e do movimento facial. As etapas envolvidas para a realização desta pesquisa abrangem a coleta de dados por meio de eletromiografia de superfície e rastreamento de marcadores faciais durante a produção de sílabas e palavras. Simultaneamente, realizou-se a gravação do sinal acústico. A análise eletromiográfica revelou uma maior ativação muscular das regiões do lábio inferior e queixo quando comparadas à região do lábio superior. Os resultados da correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial forneceram valores estatisticamente significativos para 33 das 36 relações analisadas. Os valores dos maiores coeficientes de correlação ficaram em torno de 0,7, o que pode ser considerado elevado. Foram observados atrasos de até 0,34s do movimento em relação ao sinal eletromiográfico. Tais atrasos ocorreram em situações de força isométrica, nas quais músculos são tensionados para manter articuladores em posições fixas, antes da emissão acústica de consoantes plosivas e fricativas.

Palavras-chave: Produção da Fala; Eletromiografia; Movimento Facial; Engenharia Biomédica.

Abstract

Currently, exams such as surface electromyography became part of clinical evaluations, as they allow the elaboration of more precise diagnoses and a more objective therapeutic approach. This paper aims to analyze the electromyographic activity of perioral muscles and the trajectory of the facial movement during speech, as well as the correlation between them. The hypothesis is based on the possibility of gesture-electromyographic characterization of facial muscles from simultaneous measurements of electromyography and facial movement. The steps involved in this research include the data collection of surface electromyographic signals and the tracking of facial markers during the production of syllables and words. The speech acoustic signal was recorded simultaneously. The electromyographic analysis showed greater activation of muscles in the regions of the lower lip and chin when compared to the region of the upper lip. The results of the correlation between the electromyographic activity and facial movement yielded statistically significant values for 33 of the 36 relations examined. The values of the highest correlation coefficients were around 0.7, which can be considered high. Delays of up to 0.34 s of facial motion relatively to the electromyographic signal were observed. Such delays have occurred in situations of isometric force, in which muscles are tensed to keep articulators in fixed positions, prior to the acoustic burst of plosive and fricative consonants.

Key words: Speech Production; Electromyography; Facial Motion; Biomedical Engineering

Lista de Figuras

Figura 2.1	Músculos faciais.....	05
Figura 3.1	Localização dos eletrodos do EMG e marcadores faciais.....	16
Figura 3.2	Tela de um arquivo WinDaq do software DATAQ.....	18
Figura 4.1	Dados eletromiográficos da sílaba /pa/.....	21
Figura 4.2	Dados eletromiográficos da sílaba /va/.....	23
Figura 4.3	Dados eletromiográficos da palavra /pato/.....	25
Figura 4.4	Dados eletromiográficos da palavra /vaca/.....	27
Figura 4.5	Dados eletromiográficos da palavra /fuba/.....	29
Figura 4.6	Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /fa/.....	33
Figura 4.7	Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /za/.....	34
Figura 4.8	Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /caçar/.....	36
Figura 4.9	Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para o monossílabo /ka/.....	42
Figura 4.10	Dados eletromiográficos e do movimento facial para a sílaba /ka/.....	43
Figura 4.11	Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para o monossílabo /ta/.....	44
Figura 4.12	Dados eletromiográficos e do movimento facial para a sílaba /ta/.....	45
Figura 4.13	Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para o palavra /chato/.....	46
Figura 4.14	Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /chato/.....	47

Lista de tabelas

Tabela 4.1	Dados eletromiográficos dos monossílabos.....	24
Tabela 4.2	Dados estatísticos das palavras cujo fonema de interesse encontra-se no início da palavra.....	28
Tabela 4.3	Dados estatísticos das palavras cujo fonema de interesse encontra-se no início da segunda sílaba da palavra.....	30
Tabela 4.4	Comparação dos dados eletromiográficos dos fonemas em monossílabos e palavras.....	31
Tabela 4.5a	Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras.....	38
Tabela 4.5b	Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras.....	39
Tabela 4.5c	Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras.....	40
Tabela 4.5d	Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras.....	41

Sumário

1	Introdução.....	01
2	Revisão da Literatura.....	03
2.1	Aspectos anatômicos e fisiológicos dos músculos periorais.....	03
2.2	Métodos de medição da atividade muscular e do movimento facial.....	05
2.2.1	Eletromiografia.....	05
2.2.2	Eletromiografia dos músculos faciais.....	07
2.2.3	Análise do movimento por meio de rastreamento de marcadores faciais.....	11
3	Metodologia.....	15
3.1	Aquisição de dados eletromiográficos.....	15
3.2	Extração das imagens que compõem o vídeo.....	18
3.3	Rastreamento dos marcadores faciais.....	18
4	Resultados.....	20
4.1	Atividade Eletromiográfica.....	20
4.2	Movimento Facial.....	32
4.3	Correlação entre o movimento facial e a atividade eletromiográfica.....	36
5	Discussão dos resultados.....	48
5.1	Atividade Eletromiográfica.....	48
5.2	Movimento Facial.....	49
6	Conclusão.....	52
	Referências Bibliográficas.....	53

Capítulo 1 – Introdução

A fala é o mais refinado dos comportamentos seqüenciais e neuromotores complexos que o ser humano é capaz de produzir. Quando comparada com outras formas de comunicação (gestual ou escrita), a comunicação pela fala é, sem dúvida, a mais rápida e a que menor esforço exige, sendo, globalmente, a mais eficaz. A fala é geralmente associada à componente acústica, porém, deve-se lembrar que ela é consequência de um conjunto de estímulos motores, os quais também produzem sua componente visual.

A área de motricidade orofacial atuou durante muitos anos de maneira empírica, avaliando as estruturas – lábios, língua, bochechas e funções orofaciais – de maneira subjetiva, isolada, relacionando apenas qualitativamente aspectos ósseos, dentários e musculares. Exames complementares como a eletromiografia de superfície começaram a fazer parte do diagnóstico clínico, uma vez que permitem a realização de um diagnóstico mais preciso e uma conduta terapêutica mais objetiva. Como a avaliação miofuncional clínica é subjetiva, o avaliador tem dificuldade para estabelecer parâmetros que facilitem o diagnóstico. Em razão disso, têm sido utilizados exames quantificadores, como a eletromiografia de superfície, cefalometria, videofluoroscopia, dentre outros. A utilização da eletromiografia de superfície tem sido importante dentro das terapias miofuncionais orofaciais por ser um método objetivo e quantificado. Trata-se de um exame que mensura a atividade eletromiográfica dos músculos no momento da contração muscular. Dessa maneira, complementa o diagnóstico, pois permite ao profissional estabelecer correlações entre os achados clínicos e eletromiográficos durante sua avaliação. Além disso, auxilia a controlar as metas terapêuticas durante todo o tratamento (Ferreira e colaboradores, 2005).

No que se refere à análise do movimento humano, há vários instrumentos utilizados como ferramenta para auxílio do diagnóstico e terapêutico. Os equipamentos, na sua maioria, utilizam programas computacionais modernos que embasam a prática clínica ou auxiliam na estruturação de programas de treinamento desportivo, e até mesmo no aprimoramento do controle motor.

A forma de aquisição do movimento facial abordado neste estudo consiste no posicionamento de marcadores em pontos específicos da face, realizando-se, posteriormente, o rastreamento dos mesmos. Dessa forma, o movimento facial é representado pelas trajetórias dos marcadores ao longo do tempo.

Este trabalho analisa a atividade eletromiográfica e a trajetória do movimento dos

músculos periorais durante a fala de um indivíduo, bem como a correlação entre essas medidas. A hipótese testada se baseia na possibilidade de caracterização gesto-eletromiográfica de músculos da face a partir da medição simultânea da eletromiografia e do movimento facial.

Especificamente, os objetivos são os seguintes: (i) verificar a atividade eletromiográfica dos músculos periorais durante a fala; (ii) rastrear a trajetória de marcadores faciais, simultaneamente à aquisição dos dados eletromiográficos, verificando a componente vertical do movimento; (iii) sincronizar os dados eletromiográficos, a componente vertical do movimento da face e o sinal acústico; (iv) medir a correlação entre os dados eletromiográficos e os do movimento, assim como o atraso de um em relação ao outro.

As etapas envolvidas para a realização desta pesquisa abrangem a coleta de dados por meio de eletromiografia de superfície e rastreamento de marcadores faciais durante a produção de sílabas e palavras. Simultaneamente, realizou-se a coleta do sinal acústico.

Além da introdução apresentada, o texto possui outros cinco capítulos. O Capítulo 2, revisão da literatura, apresenta conceitos e estudos relevantes para o entendimento acerca da musculatura facial, da eletromiografia de superfície e da análise do movimento facial por meio de marcadores. O Capítulo 3 descreve o experimento realizado, abrangendo a descrição metodológica para a obtenção dos dados eletromiográficos bem como o rastreamento dos marcadores faciais. O Capítulo 4 explicita os resultados obtidos no experimento. O Capítulo 5, por sua vez, traz a comparação dos resultados alcançados pelo estudo com aqueles descritos na revisão da literatura, consistindo na discussão dos resultados. Finalmente, a conclusão é apresentada no Capítulo 6.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura

2.1 Aspectos anatômicos e fisiológicos dos músculos periorais

Os músculos faciais, em especial os da expressão facial, são exclusivos uma vez que não possuem as bainhas fasciais características dos músculos esqueléticos. Seu tamanho, sua forma e grau de desenvolvimento dependem da idade, dentição e sexo, assim como de variações individuais intrínsecas. Vale ressaltar que muitas de suas fibras inserem-se diretamente na pele. Essas características possibilitam as numerosas combinações de movimento facial (expressão facial) que testemunhamos no cotidiano. Pode-se visualizar os músculos faciais na Figura 2.1 (Zemlin, 2000).

O principal músculo que atua sobre os lábios é o orbicular da boca, um anel oval de fibras musculares, situado no interior dos lábios, que circunda completamente a rima da boca. É um músculo complexo que se acredita ser composto por fibras musculares intrínsecas e extrínsecas. Isto é, algumas fibras são exclusivas dos lábios, e outras, de outros músculos faciais que se inserem nos lábios. Os músculos dos lábios podem ser divididos em duas camadas: uma camada profunda de fibras, organizada em anéis concêntricos, e uma camada superficial de fibras, para a qual convergem os outros músculos da face. O músculo orbicular da boca é um esfíncter e, quando se contrai, fecha a boca e enruga os lábios (Zemlin, 2000).

O músculo mental é um feixe em forma de cone, situado ao lado do frênulo do lábio inferior. As fibras originam da fossa incisiva da mandíbula e descendem para unir-se à pele do mento. Este músculo tem a função de levantar o lábio inferior e o sulco mentolabial, enrugando a pele do mento. Também auxilia na protusão e eversão do lábio inferior durante a ingestão de líquidos (Zemlin, 2000).

O músculo levantador do lábio superior e da asa do nariz origina-se como uma faixa muito delgada de músculo, a partir do processo frontal e da margem infra-orbital do maxilar. Faz trajeto para baixo e ligeiramente para lateral, a seguir divide-se em duas tiras: uma que se insere na estrutura cartilaginosa lateral do nariz e outra no músculo orbicular da boca. Como o próprio nome diz, este músculo eleva o lábio superior e dilata as narinas (Zemlin, 2000).

O músculo levantador do lábio superior tem uma ampla origem na margem inferior da órbita. Algumas fibras também emergem do osso zigomático e da maxila. As fibras fazem trajeto para baixo, para se inserirem no lábio superior, entre o levantador do ângulo da boca e o levantador do lábio superior e da asa do nariz. O levantador do lábio superior tem a função

de elevar o lábio superior e pode evertê-lo também (Ferreira e colaboradores, 1997).

O músculo zigomático menor origina-se na face facial (malar) do osso zigomático, na região da sutura zigomáticomaxilar. As fibras têm percurso para baixo e medialmente, para se inserirem no orbicular da boca. Já o músculo zigomático maior é longo e delgado, o qual emerge na face malar do osso zigomático, imediatamente lateral à origem do zigomático menor. As fibras fazem trajeto para baixo e para medial, de modo a se inserirem no orbicular da boca e no tegumento do ângulo da boca. Quando se contrai, esse músculo leva o ângulo da boca para cima e para lateral, como ocorre ao se dar risada ou sorrir abertamente (Zemlin, 2000).

O músculo depressor do lábio inferior é pequeno, chato, quadrangular, localizado abaixo do lábio inferior, imediatamente lateral à linha média. Origina da linha oblíqua da mandíbula próximo ao forame mentoniano. Ao se contrair, promove o abaixamento e a lateralização do lábio inferior. Por outro lado, o músculo depressor do ângulo da boca é uma lâmina chata e triangular de músculo, superficial e lateral às fibras do depressor do lábio inferior. Origina na linha oblíqua da mandíbula e suas fibras interdigitam com as do platisma, as fibras convergem quando fazem trajeto vertical para cima, e inserem-se, em grande parte, no orbicular da boca e no ângulo da boca. Algumas fibras, no entanto, inserem-se no lábio superior. Durante a contração, esse músculo pode deprimir o ângulo da boca e ajudar na compressão dos lábios, dirigindo o lábio superior para baixo, contra o inferior (Zemlin, 2000).

O músculo levantador do ângulo da boca é chato, triangular localizado acima do ângulo da boca, mas abaixo do levantador do lábio superior. Sua origem, lateral à asa do nariz, fica na fossa craniana, na face superficial da maxila. As fibras convergem quando fazem trajeto para o ângulo da boca, onde algumas se inserem no lábio superior. Outras atravessam para se inserirem no ângulo do lábio inferior. A contração desse músculo leva o ângulo da boca para cima e também auxilia o fechamento da boca, direcionando o lábio inferior para cima (Zemlin, 2000).

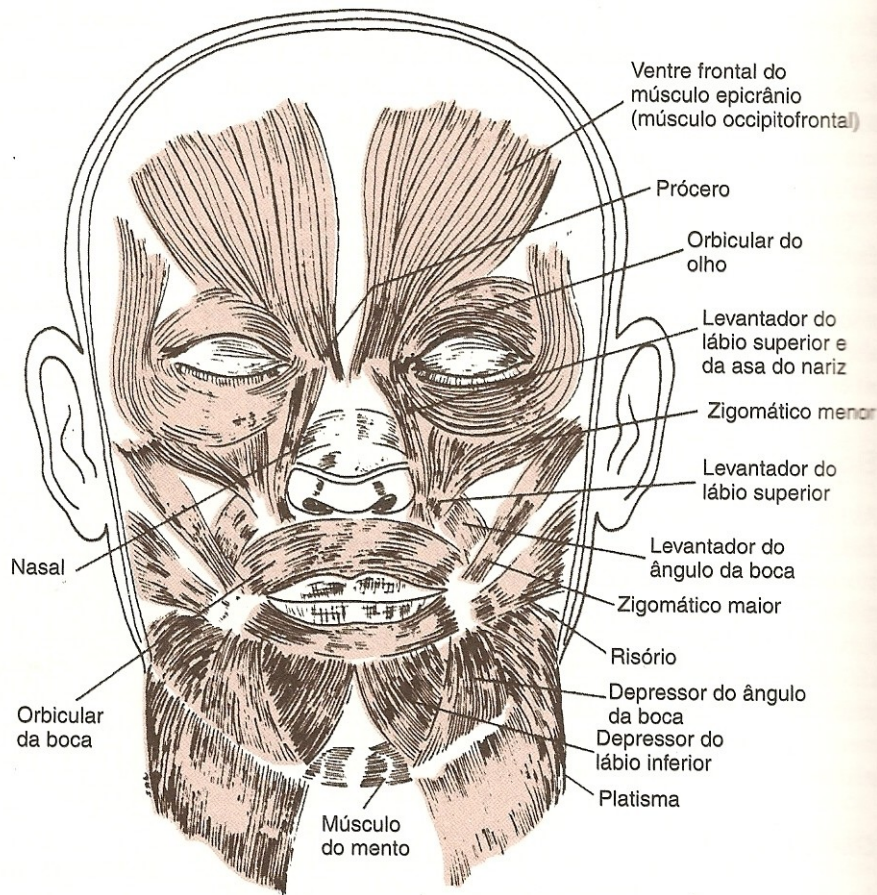


Figura 2.1 Músculos faciais. Fonte: Zemlin, 2000.

2.2 Métodos de medição da atividade muscular e do movimento

2.2.1 Eletromiografia

A contração muscular e a produção de força são provocadas pela mudança relativa de posição de várias moléculas ou filamentos no interior do arranjo muscular. O deslizamento dos filamentos é provocado por um fenômeno elétrico conhecido como potencial de ação. Este, por sua vez, resulta da mudança no potencial de membrana que existe entre o interior e o exterior da célula muscular. O registro dos padrões de potenciais de ação é denominado eletromiografia (Andrade, 2008).

Sinais elétricos gerados no músculo eventualmente conduzem ao fenômeno da contração muscular. A fisiologia da contração muscular ocorre em várias etapas. Primeiramente, um potencial de ação trafega ao longo de um nervo motor até suas terminações nas fibras musculares, sendo que, em cada terminação, o nervo promove a liberação do neurotransmissor acetilcolina. A acetilcolina atua sobre uma área localizada na

membrana da fibra muscular, abrindo numerosos canais acetilcolina-dependentes dentro de moléculas protéicas na membrana da fibra muscular. A abertura desses canais permite que uma grande quantidade de íons de sódio flua para dentro da membrana da fibra muscular, desencadeando o potencial de ação na fibra muscular. A despolarização da fibra muscular leva à liberação de íons de cálcio do retículo endoplasmático para o citoplasma. Por fim, os íons de cálcio formam um complexo com as proteínas contráteis (actina e miosina), provocando grandes forças atrativas entre esses filamentos, fazendo com que eles deslizem entre si, levando à contração muscular (Andrade, 2008).

Para Oncins e colaboradores (2006), atualmente, o desenvolvimento tecnológico permite contar com instrumentos de medição de grande precisão e de uso clínico, dentre os quais tem-se a eletromiografia – EMG – método disponível no mercado com maior objetividade para registrar a atividade muscular simultânea. A eletromiografia (EMG) registra a atividade muscular em microvolts (mV) e em décimos de segundos, pela inserção de eletrodos bipolares, do tipo descartável, na região correspondente a cada músculo na superfície da pele. A eletromiografia é um exame que envolve a detecção e os registros dos potenciais elétricos nas fibras musculares, podendo registrar, simultaneamente, os músculos bilaterais da região craniomandibular. A eletromiografia de superfície não é invasiva e o indivíduo não corre nenhum risco. Os registros eletromiográficos podem fornecer excelentes informações das funções musculares em condições experimentais. Outro ponto favorável da EMG é usar eletrodos de superfície adequados para a musculatura a ser analisada.

A eletromiografia tem a capacidade de detectar a amplitude da ativação do músculo e, dessa forma, verificar qual musculatura está sendo mais ativada naquele momento, por isso tem sido usada intensamente como um recurso quantitativo comprobatório dos achados.

No que se refere ao uso dos eletrodos, pode-se afirmar que os eletrodos de superfície registram a atividade muscular sobre uma área maior, enquanto que os eletrodos de fio fino intramuscular registram a atividade de músculos específicos (Barros, 2005).

Perry e colaboradores (1981) compararam a eficácia de eletrodos de superfície com eletrodos intramusculares na pesquisa eletromiográfica de músculos superficiais e profundos. Os autores verificaram que os eletrodos de superfície não são seletivos e não devem ser utilizados para representar um músculo específico, devido à interferência dos músculos adjacentes. Dessa forma, Perry e colaboradores afirmam que, ao utilizar os eletrodos de superfície, deve-se ter em mente que estes representam grupos musculares e não um músculo em particular.

Huang e colaboradores (2004) sugerem que é essencial o desenvolvimento de eletrodos

de superfície apropriados para a aplicação facial. Segundo os autores, o uso de eletrodos convencionais afeta o movimento da musculatura facial e diminui a validade do experimento.

Nishihara e colaboradores (2008) investigaram a localização otimizada de eletrodos utilizando uma técnica de análise automatizada de eletromiografia de superfície. Os autores afirmam que a identificação da zona de inervação é muito utilizada para otimizar a precisão e a certeza dos dados da eletromiografia de superfície, já que este sinal é fortemente influenciado por tais zonas. A metodologia empregada no estudo abrange a investigação da propagação dos padrões de potenciais de ação nos músculos raquial e deltóide utilizando a técnica de análise automatizada do sinal por meio de um software. Os resultados revelam que as localizações estimadas foram parcialmente confirmadas pela raiz da média quadrática dos sinais eletromiográficos.

2.2.2 Eletromiografia dos músculos faciais

A eletromiografia, como método de estudo, tem sido bastante utilizada e vem contribuindo para elucidar o desempenho da musculatura perioral em vários processos fisiológicos como a mastigação, deglutição e fala, consistindo em um instrumento importante na análise das bases fisiopatológicas das mudanças que ocorrem nesta musculatura.

A eletromiografia com eletrodos de captação de superfície é utilizada, atualmente, na pesquisa de diversas patologias: alterações respiratórias, distúrbios do sono, pesquisa de músculos específicos em atletas e animais, na fala de crianças com alterações de oclusão, na avaliação de métodos de alimentação em lactentes, entre outras. O uso da eletromiografia em pesquisas permitiu determinar a ação da musculatura oral nas diversas formas de alimentação, bem como comparar a atividade entre elas.

Tatham e colaboradores (1972) estudaram a eletromiografia e a pressão intraoral dos fonemas bilabiais oclusivos (/b/ e /p/) com o objetivo de determinar o quanto a produção da fala é dependente da fonologia e da fonética. Neste experimento, os autores analisaram de forma minuciosa a relação entre a contração do músculo orbicular da boca e do fechamento da boca em consoantes oclusivas bilabiais. Como o fechamento do lábio resulta em um aumento da pressão intraoral, esta também foi mensurada durante o experimento. Resultados obtidos: (i) não existe nenhuma diferença no pico de amplitude do sinal de EMG do orbicular da boca associada à contração da oclusão dos lábios nos fonemas /b/ e /p/, assim como não há nenhuma correlação significativa no pico de pressão intraoral e o sinal de EMG; (ii) a amplitude da atividade eletromiográfica é maior no momento de liberação do ar no fonema /p/

do que para /b/; (iii) a duração da contração muscular antes da produção do fonema /p/ é maior quando comparado com o fonema /b/.

Para Lehr e colaboradores (1973) os músculos circunmoriais (ao redor dos lábios) da expressão facial parecem estar envolvidos em uma série de atividades que têm uma relação direta com vários problemas práticos em odontologia. A eletromiografia destes músculos foi realizada com o uso de eletrodos que foram inseridos bilateralmente em dez homens com dentição completa e oclusão normal, e idade variando entre 21 e 35 anos. Os dados da EMG foram coletados bilateralmente em dois grupos de músculos que circundam os lábios, o superior e o inferior. O grupo superior consistia nos músculos zigomático, músculos da porção superior e inferior do orbicular da boca e o elevador do lábio superior. O grupo inferior consistia nos músculos rizório, depressor do ângulo da boca, depressor do lábio inferior e o mental. Os eletrodos foram fixados ao rosto com fita adesiva e os pacientes foram orientados a executar uma série de movimentos precedidos por um período de repouso mandibular. Os movimentos foram: sorrir, franzir a testa, enrugar os lábios, sugar com resistência, levantar o lábio superior esquerdo, levantar o lábio superior direito, levantar o nariz, mastigar e engolir. Os resultados obtidos revelaram que a porção inferior dos músculos ao redor dos lábios iniciou muitas atividades orais e tinha um grau mais elevado de atividade que a porção superior.

Cole e colaboradores (1983) construíram e testaram um eletrodo de superfície em miniatura para ser usado na região perioral durante a fala. Além das pequenas dimensões (6,5mm de diâmetro e 3,0mm de espessura) e baixo peso, os eletrodos apresentam comparável performance bioelétrica com os eletrodos intramusculares para a região perioral, incluindo baixa impedância e boa relação sinal-ruído. Segundo os autores, para a eletromiografia da região perioral durante a fala, os eletrodos intramusculares são os mais utilizados devido às suas pequenas dimensões, baixo peso, boas características bioelétricas e seletividade muscular. Entretanto, há muitas aplicações, em especial para a população infantil, em que o método não-invasivo é mais conveniente que o intramuscular. Os autores concluíram que o eletrodo por eles projetado proporciona alta qualidade dos sinais eletromiográficos coletados na região orofacial.

Na pesquisa de Fogle e colaboradores (1995) os autores examinaram a contribuição de variáveis morfológicas faciais na variância da eletromiografia dos músculos mastigatórios, quando sujeitos produzem níveis específicos de força interoclusal. Os dados da EMG foram obtidos por meio de eletrodos de superfície colocados nos músculos masseter e temporal em 96 sujeitos. A análise de correlação, realizada sobre o conjunto de variáveis (idade, gênero, e

mensurações faciais) e o conjunto de critérios de variáveis (dados da EMG), mostram uma significativa correlação entre os dois conjuntos de variáveis na mastigação. Os dados sugerem que variáveis morfológicas faciais examinadas neste estudo não exercem influência significativa nos dados de EMG, pelo menos quando a tarefa envolve morder com os incisivos ao longo de um amplo leque de forças de mordida.

Na opinião de Renault (2001), a eletromiografia dos músculos faciais é uma importante ferramenta diagnóstica nas fraquezas faciais congênitas, como, por exemplo, na paralisia facial devido ao estresse pré-natal ou perinatais do nervo facial (VII par craniano), que requer avaliação da gravidade, a fim de definir a abordagem do efeito terapêutico; e na síndrome de Möbius, na qual o estudo eletromiográfico pode lançar luz sobre a fisiopatologia.

O artigo “A utilização do *biofeedback* no tratamento fisioterápico da paralisia facial periférica” (Goulart e colaboradores, 2002) faz uma revisão bibliográfica sobre o uso do *biofeedback* na paralisia facial periférica, ressaltando técnicas, características e efeitos do tratamento. Segundo os autores, o *biofeedback* é também uma técnica que utiliza referências visuais ou auditivas por meio da eletromiografia, de um espelho ou de outros recursos, para fornecer ao indivíduo informações sobre sua performance motora. O *biofeedback* eletromiográfico (EMG) fornece informações sobre a atividade elétrica muscular, captada através de eletrodos de superfície. Os autores encontraram na literatura várias vantagens para a utilização do equipamento de *biofeedback* EMG: ele permite realizar treinamento de facilitação, inibição e coordenação motora de maneira seletiva, associado a uma abordagem específica de cinesioterapia para o sistema neuromotor facial.

Wohlert e colaboradores (2002) analisaram a atividade eletromiográfica produzida por meio da repetição de uma frase dita por uma criança de sete anos, por uma de doze anos e por um adulto. Para a detecção da atividade muscular foram utilizados eletrodos de superfície no lábio inferior com o objetivo de captar a oclusão dos lábios nas consoantes bilabiais presentes na frase. Assim, os autores analisaram a amplitude do sinal eletromiográfico retificado. Tanto as produções da criança de sete anos quanto as da criança de doze anos mostraram maior variabilidade quando comparadas às produções do adulto na repetição da frase. Estes resultados sustentam a idéia de que as crianças conseguem variar a combinação da atividade muscular para atingir uma meta fonética. Assim, segundo os autores, estes dados sugerem que as crianças conservam a flexibilidade do sistema motor-oral, empregando mais graus de liberdade do que os adultos, com controle dinâmico da abertura/fechamento dos lábios. Esta estratégia adaptativa deve-se às mudanças neurofisiológicas e biomecânicas que ocorrem durante a transição da adolescência para a fase adulta.

Nos estudos de Regalo e colaboradores (2005) observa-se a comparação de medidas eletromiográficas dos fascículos superior e inferior do músculo orbicular da boca em indivíduos portadores de deficiência auditiva neurosensorial profunda com indivíduos clinicamente normais. A análise eletromiográfica foi realizada em 20 indivíduos, de ambos os sexos, com idade média de 18,5 anos, divididos em dois grupos: o primeiro grupo constituído por 10 indivíduos portadores de deficiência auditiva neurosensorial profunda bilateral e o segundo por indivíduos clinicamente normais. Cinco condições clínicas foram avaliadas: sucção, sopro, projeção e compressão labial e emissão da sílaba /pa/. Verificou-se que os pacientes surdos apresentaram hiperatividade muscular em todas as condições clínicas analisadas, e que o fascículo inferior do músculo orbicular da boca apresentou os níveis mais altos de atividade eletromiográfica, sugerindo a necessidade de um tratamento fonoaudiológico, com enfoque em motricidade oral.

Gomes e colaboradores (2006) mensuraram e compararam a atividade dos músculos masseter, temporal e bucinador em diferentes métodos de alimentação de lactentes. O estudo foi transversal, com participação de 60 lactentes nascidos a termo e sem intercorrências, entre 2 e 3 meses de idade, divididos em três grupos: 1) aleitamento materno exclusivo; 2) aleitamento misto com uso de mamadeira; e 3) aleitamento materno exclusivo com uso de copo. A análise dos músculos foi dividida em: amplitude de contração e média de contração dos músculos masseter, temporal e bucinador. Os autores verificaram maiores resultados no grupo de aleitamento materno em relação ao grupo de aleitamento por mamadeira, tanto na amplitude quanto na média de contração do músculo masseter. Este estudo revelou que as semelhanças entre a atividade muscular do grupo de aleitamento materno e aleitamento por copo permitem sugerir o uso do copo como método alternativo na alimentação de lactentes, ao contrário do aleitamento por mamadeira, devido à hiperfunção do músculo bucinador, podendo resultar em alterações motoras orais e das funções neurovegetativas.

Andrade e colaboradores (2008) compararam a ativação muscular em três sujeitos fluentes e três gogos durante tarefas de fala e não-fala. A atividade eletromiográfica foi captada por eletrodos de superfície fixados em quatro regiões: porção média da região perioral inferior (orbicular inferior - ORB); musculatura suprahióidea (eletrodos fixados no ramo médio do músculo digástrico - SH); pescoço - porção média do músculo esternocleidomastóideo (ECM) e porção média do trapézio (TR), em situações diversas (tensão muscular no repouso, tempo de reação da fala, atividade não verbal e atividade verbal). Os resultados obtidos pelos autores sugerem que não houve diferença estatística significativa entre os grupos para a tensão muscular de repouso; que os indivíduos gogos

apresentaram tempo de reação de fala mais longo além de terem apresentado atividade muscular durante a tarefa não verbal semelhante à observada durante o repouso; e que a atividade eletromiográfica de todos os participantes durante a tarefa verbal foi similar. Tais dados confirmam o pobre controle temporal dos sujeitos gagos para a coordenação dos processos motores.

Oncins e colaboradores (2006) verificaram os padrões do ciclo mastigatório de indivíduos sem sintomas de disfunção da ATM durante a mastigação, descrevendo a atividade eletromiográfica dos masseteres e temporais na mastigação e no repouso mandibular. Os autores também analisaram o movimento da mandíbula durante o ciclo mastigatório. Para rastrear o movimento da mandíbula em cada ciclo de mastigação foi utilizado a eletrognatografia, que consiste em um exame computadorizado em que sensores magnéticos são fixados na região ântero-inferior dos dentes incisivos centrais inferiores, por meio de adesivo cirúrgico. Os movimentos mandibulares foram captados pelas antenas do aparelho e transmitidos para o computador. Nos resultados, verificou-se que o músculo temporal apresentou maior atividade elétrica no repouso e o masseter, no lado da preferência mastigatória. Dos indivíduos, 65,4% mastigaram mais à direita, e 34,6% mais à esquerda, ou seja, 100% dos indivíduos apresentaram mastigação preferencial de um dos lados.

2.2.3 Análise do movimento por meio do rastreamento de marcadores faciais

Diversos trabalhos (Kuratate e colaboradores, 1998; Yehia, e colaboradores, 1998) utilizaram um equipamento denominado OPTOTRAK (Northern Digital, Inc, 1990) para realizar o rastreamento de marcadores emissores de luz infravermelha em tempo real. Este sistema rastreia as posições tridimensionais dos marcadores a elevadas taxas (60 Hz) com uma precisão da ordem de 0,03mm.

Sendo o OPTOTRAK um equipamento cujo uso é restringido pelo seu alto custo, uma alternativa para representar o movimento facial é rastreá-lo a partir de seqüências de vídeo utilizando marcadores pintados. Estes são filmados durante a fala e, a partir do vídeo produzido, suas posições são rastreadas. Esta abordagem apresenta desvantagens como a aquisição apenas do movimento facial bidimensional, a necessidade de se utilizar um algoritmo para realizar o rastreamento dos marcadores e o fato das posições dos marcadores serem obtidas com menor precisão, dependendo da resolução da câmera (Barbosa e colaboradores 2004).

Hirayama e colaboradores (1994) realizaram gravações da atividade muscular e do

movimento ao redor da boca e sob o queixo por meio de marcadores na face em um falante de japonês durante a produção de frases e afirmações. Redes neurais artificiais foram utilizadas para adquirir os mapeamentos entre a atividade muscular e os valores de cada variável predita. Os autores pretendiam examinar o quanto a largura e altura da abertura bucal poderiam ser preditos a partir de músculos periorais diferentes dos músculos orbicular superior e inferior da boca. Para isso, estimaram a forma e posição da musculatura orofacial por meio de um determinado modelo de produção da fala. Por fim, concluíram que o comportamento orofacial pode ser mais tratável computacionalmente em termos de rigidez, posição de equilíbrio e força muscular do que aceleração. Além disso, observou-se mínima participação do lábio superior durante a fala.

Em Yehia e colaboradores (1998), verificou-se a existência de uma forte correlação entre o movimento da face, o movimento do trato vocal e a acústica da fala. Isto sugere que informações fonéticas visuais são conseqüências da configuração do trato vocal para a geração da acústica da fala, o que indica que eventos acústicos e visuais compartilham a mesma fonte de controle neuromotor (Vatikiotis-Bateson e Yehia, 1996a; Vatikiotis-Bateson e colaboradores, 1996b).

Um pequeno conjunto de parâmetros capaz de representar o movimento facial pode ser obtido aplicando-se a Análise dos Componentes Principais (PCA) às posições de alguns pontos específicos da face, às vezes chamados de marcadores. A Análise dos Componentes Principais consiste em reescrever as variáveis originais em novas variáveis denominadas componentes principais, através de uma transformação de coordenadas, reduzindo o número de variáveis e fornecendo uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. Em síntese, o PCA é um método que tem por finalidade básica a redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (Kuratate e colaboradores, 1998).

Utilizando-se a idéia de marcadores para representar o movimento facial, alguns estudos conseguiram mostrar que informações fonéticas estão distribuídas sobre uma região da face muito maior do que as vizinhanças da cavidade oral. Esta idéia já havia sido sugerida em Vatikiotis-Bateson e colaboradores (1998) a partir de estudos do rastreamento dos olhos de ouvintes. Além disso, informações fonéticas visíveis são contínuas e se aplicam à produção de todos os sons (Vatikiotis-Bateson, 1999).

Vatikiotis-Bateson e colaboradores (1998) acreditam que as informações visuais da face podem influenciar a percepção da fala, e que a correspondência visual e acústica são eventos integrados mesmo quando o sinal acústico é claro e perceptível. Em seus estudos, os autores analisaram o movimento da face a partir do pressuposto de que o processo de produção

acústica da fala gera, linguisticamente, informação visual considerável, que é distribuída ao longo de grandes porções da face. Para eles, o movimento dos lábios fornece informações úteis através do tempo; além disso, os movimentos dos lábios e da mandíbula realizados para a produção acústica deforma consideravelmente a face. Sustentando esta idéia, os autores propõem um modelo de produção audiovisual da fala que poderá tornar-se uma ferramenta experimental útil, fornecendo estímulo audiovisual sintético com parâmetros de controle artificial. Este modelo caracteriza-se por um mecanismo rudimentar de controle para a produção audiovisual da fala que combina dois modelos computacionais (da expressão facial e do movimento) desenvolvidos independentemente, porém compatíveis por se basearem na fisiologia e anatomia de cada sistema.

Vatikiotis-Bateson e colaboradores (2001) estudaram a respeito da análise da produção e percepção da fala audiovisual. Eles gravaram o discurso de falantes de inglês, japonês e francês utilizando eletromiografia intramuscular, um eletromagnetômetro para medições do trato vocal e o dispositivo denominado OPTOTRAK utilizado para monitorar os diversos locais da face. Os autores verificaram forte correlação entre a componente visual e a acústica do sinal durante a fala.

McClellan e colaboradores (2003) realizaram um estudo acerca da análise da correlação da atividade muscular média do lábio inferior e da mandíbula com o movimento dos mesmos, variando-se a velocidade e a intensidade da fala. Os dados foram obtidos por meio do movimento orofacial (sistema eletromagnético), atividade eletromuscular e sinal acústico em três participantes. Os autores verificaram como a atividade muscular orofacial está correlacionada com os diferentes parâmetros do movimento de acordo com as variações na intensidade e velocidade da fala. Os resultados revelaram correlação positiva entre a atividade eletromiográfica, velocidade e distância do movimento; por outro lado, foi verificada correlação negativa entre a atividade muscular e a duração do movimento.

Nos estudos de Barbosa (2004), foi realizada uma análise quantitativa da relação entre a acústica da fala e seu movimento com o objetivo de se encontrar um mapeamento entre esses dois domínios que pudesse ser utilizado em um sistema de codificação audiovisual da fala. Foram realizados experimentos para a aquisição dos dados acústicos e faciais. O movimento facial foi medido rastreando-se as trajetórias de pontos pintados sobre a face do locutor. Um algoritmo robusto foi desenvolvido pelo autor para rastrear as posições dos marcadores.

Murano e colaboradores (2007) explicaram os padrões de tensão e de movimento nas estruturas dos tecidos moles da cavidade oral por meio de um modelo que quantifica a força muscular hidrostática. Os lábios e língua são ambos músculos hidrostáticos compostos

inteiramente de tecidos moles e movidos por uma deformação local. Este trabalho apresenta dados dos lábios (como um exemplo de estrutura muscular hidrostática) e mostra como a ressonância magnética de alta resolução e marcadores cine-RM retratam a anatomia muscular de locais isolados.

Após a contribuição da revisão da literatura para a compreensão da anatomia facial e dos métodos de medição da atividade muscular e do movimento facial, passemos agora para a pesquisa propriamente dita, iniciando com a descrição metodológica empregada.

Capítulo 3 – Metodologia

Os dados mensurados em uma participante do gênero feminino, 31 anos, foram adquiridos em ambiente com isolamento acústico (cabine) e pouca iluminação artificial. As gravações foram realizadas por meio de uma filmadora digital (Sony, DCR-TRV110 NTSC), a uma taxa de 30 quadros por segundo. A participante foi previamente treinada à prova solicitada, minimizando as dúvidas e perguntas no decorrer do exame ou outras interferências como, por exemplo, movimentos não desejados durante a realização da tarefa.

Foram apresentadas à voluntária pranchas de sílabas e palavras contendo os fonemas selecionados para a análise neste estudo: /b/, /d/, /g/, /v/, /z/, /j/, /p/, /t/, /k/, /f/, /s/, /x/. (International Phonetic Association, 1999). Tais fonemas foram selecionados conforme algumas características fonéticas. Uma das características consiste no modo de articulação, em que foram selecionados fonemas oclusivos (/b/, /d/, /g/, /p/, /t/, /k/) e fricativos (/v/, /z/, /j/, /f/, /s/, /x/). O modo de articulação está relacionado ao tipo de obstrução de ar causada pelos articuladores durante a produção de um segmento. Outra característica que norteou a escolha dos fonemas foi o ponto de articulação, em que objetivou-se selecionar fonemas que retratassem diferentes pontos. Dessa forma, foram escolhidos fonemas bilabiais (/b/, /p/), labiodentais (/v/, /f/), alveolares ou dentais (/d/, /z/, /t/, /s/), alveopalatais (/j/, /x/) e velares (/g/, /k/). O ponto de articulação representa a posição do articulador ativo em relação ao articulador passivo (estático) durante a produção de segmentos consonantais. Por fim, observou-se o traço de sonoridade, selecionando pares de fonemas que se diferenciam apenas pela sonoridade (/b/ e /p/; /g/ e /k/; /z/ e /s/; /d/ e /t/; /f/ e /v/; /j/ e /x/).

Os monossílabos selecionados para a análise foram: ba, da, ga, va, za, ja, pa, ta, ca, fa, sa, cha. Dissílabos cujo fonema de interesse encontra-se no início da palavra: **bata**, **data**, **gato**, **vaca**, **zaga**, **jato**, **pato**, **tato**, **caco**, **faca**, **saco**, **chato**. Dissílabos cujo fonema de interesse encontra-se dentro da palavra (no início da segunda sílaba): **fubá**, **andar**, **pagar**, **cavar**, **casar**, **cajá**, **tampar**, **cortar**, **tocar**, **sofá**, **caçar**, **achar**.

3.1 Aquisição de dados eletromiográficos

Para a realização do experimento utilizou-se o eletromiógrafo de oito canais da EMG System do Brasil LTDA, modelo EMG 800C. Os eletrodos utilizados foram do modelo

Double, descartáveis, confeccionados em espuma de polietileno com adesivo medicinal hipoalérgico, gel sólido aderente, contato bipolar de Ag/AgCl, com diâmetro de 10mm e distância entre pólos de 20 mm.

O EMG 800C permite a configuração da frequência de amostragem, dos canais do eletromiógrafo, dos ganhos e filtros, da unidade de leitura dos canais, da velocidade de varredura da tela e duração do registro do sinal. Permite também a introdução de legendas e a exportação dos dados para o padrão tabela numérica.

Para a sincronização dos dados, o Canal 1 do eletromiógrafo foi selecionado para a captação do sinal acústico durante as elocuições. Os Canais 2, 3 e 4 registraram a atividade eletromiográfica das regiões do lábio superior, lábio inferior e queixo, respectivamente.

A participante permaneceu sentada em uma cadeira com encosto vertical, mantendo os membros superiores relaxados e os pés apoiados no chão. Antes de fixar os eletrodos, removeu-se a gordura da pele com álcool 70° para reduzir a impedância do sistema. Posicionou-se os eletrodos no lábio superior, lábio inferior e na região do queixo, conforme ilustrado na Figura 3.1. Como já foi ressaltado no Capítulo 2 (revisão da literatura) por Perry e colaboradores (1981), a eletromiografia por meio de eletrodos de superfície detecta a atividade de um grupo muscular, e não de um músculo específico. Dessa forma, a atividade eletromiográfica verificada neste estudo abrange toda a região perioral.

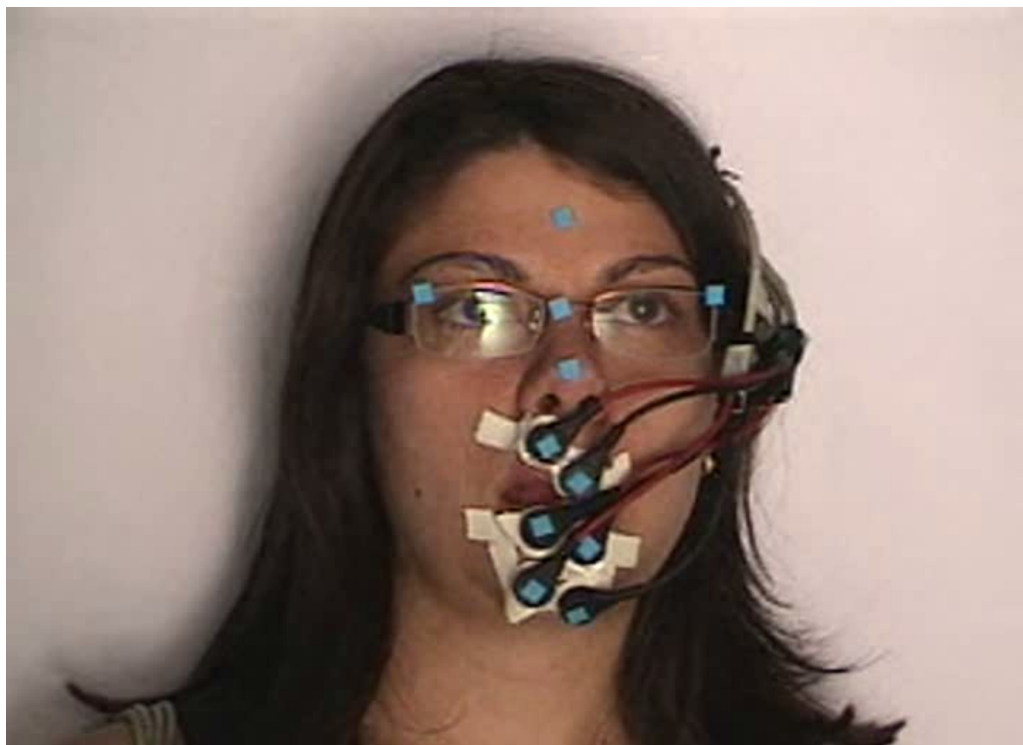


Figura 3.1 Localização dos eletrodos do EMG e marcadores faciais

Os canais utilizados para eletromiografia possuem dois filtros configurados de fábrica: um filtro passa altas com frequência de corte de 20 Hz, cuja finalidade é eliminar os sinais com frequências inferiores a 20Hz. Os ruídos de baixas frequências são eliminados por este filtro, como, por exemplo, os ruídos induzidos nos cabos. O outro é um filtro passa baixa de 500Hz, cuja finalidade é eliminar os sinais com frequência superiores a 500Hz. Sendo assim, os sinais de EMG de superfície estão na faixa de frequência de 20 a 500Hz.

A frequência de amostragem do eletromiógrafo é de 14kHz no máximo. A configuração de fábrica é definida em 8 kHz, ficando 1kHz por canal, para um sistema de 8 canais. No presente estudo, foi utilizada a frequência de amostragem de 14kHz. Tendo em vista a utilização de 4 canais na pesquisa, a frequência de amostragem por canal foi de 3,5kHz, obedecendo-se o teorema de amostragem, o qual demonstra que a frequência de amostragem de um sinal analógico, para que possa posteriormente ser reconstituído perfeitamente, deve ser maior que duas vezes a maior frequência do espectro desse sinal.

O software DATAQ (Figura 3.2), armazena os sinais eletromiográficos no formato WinDaq (extensão .WDQ) para posterior análise dos mesmos. Com esse software é possível visualizar os registros, configurar os canais a serem visualizados, selecionar os trechos do sinal para a análise e obter informações estatísticas do sinal, tais como média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, variância, média retificada, atividade, inatividade, dentre outros.

Para o processamento dos sinais eletromiográficos utilizaram-se vários filtros por meio do software MatLab. O filtro é um dispositivo destinado a atenuar faixas de frequência específicas, sendo útil na separação do sinal quando este encontra-se contaminado por alguma interferência, seja outro sinal ou ruído.

Os filtros foram determinados tendo em vista as características do sinal de EMG de superfície, os quais concentram-se na faixa de frequência de 20 a 500Hz.

A fim de eliminar os ruídos da rede elétrica (60Hz e seus múltiplos), utilizou-se um filtro digital IIR (Resposta Infinita ao Impulso) do tipo pente. Para isso, foi utilizada a função *iircomb* do Matlab. Posteriormente, utilizou-se um filtro digital *Butterworth* de ordem 4 para atenuar frequências acima de 500Hz. Este filtro é bem ajustado para aplicações que requerem a preservação da linearidade da amplitude do sinal filtrado, sendo por isso, muito utilizado para a análise dos dados eletromiográficos. Os coeficientes do filtro *Butterworth* foram calculados através da função *butter* do Matlab. A filtragem propriamente dita foi realizada por meio da função *filtfilt* do Matlab, a qual filtra o sinal nos sentidos direto e reverso, reforçando a filtragem de magnitude e cancelando distorções de fase. Por último, utilizou-se um filtro de

mediana de ordem 21 (através da função *medfilt1* do Matlab) para a suavização do sinal eletromiográfico, fornecendo um valor mediano do mesmo.

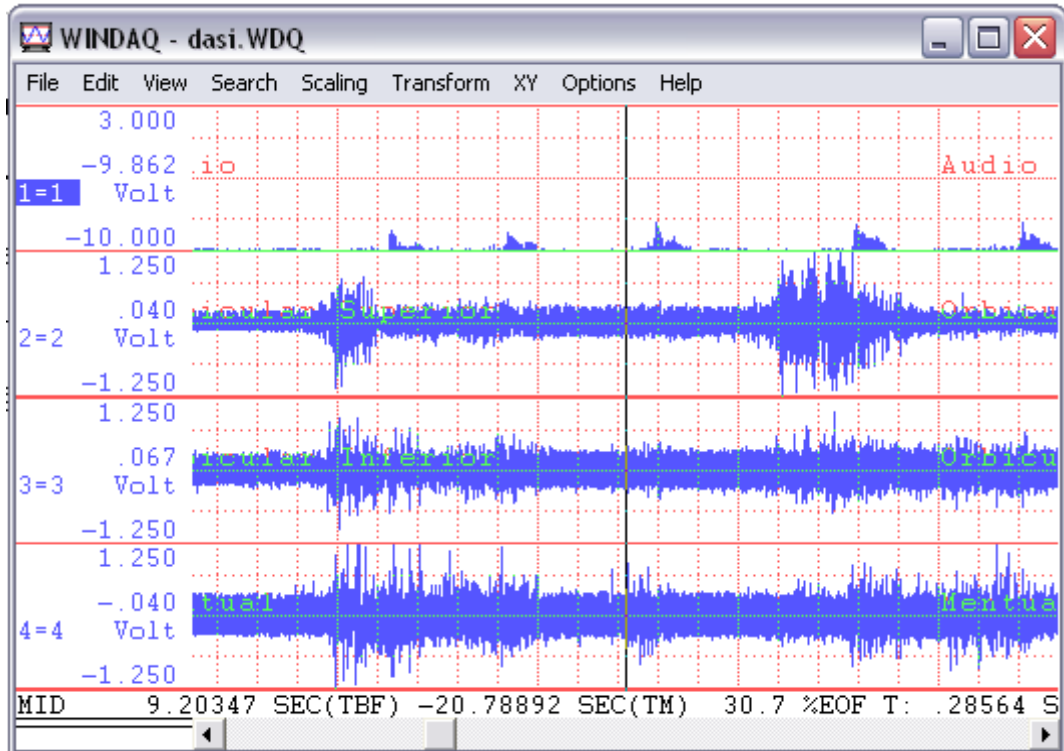


Figura 3.2 Tela de um arquivo WinDaq do software DATAQ.

3.2 Extração das imagens que compõem o vídeo

A partir do arquivo de vídeo obtido durante o experimento, realizou-se a extração das imagens que o compõem. Para isso, foi utilizado o *software SC Vídeo Decompiler* que extrai quadros de vídeo em arquivos de imagem a uma taxa de 30 quadros por segundo.

3.3 Rastreamento dos marcadores faciais

Uma vez obtidas as imagens, é necessário rastrear a posição dos marcadores fixados sobre a face do locutor.

O rastreamento dos marcadores consiste na localização dos mesmos em cada uma das imagens que compõem a sequência de vídeo. Após a localização de todos os marcadores nas imagens, obtém-se a trajetória que cada um deles percorreu ao longo do tempo.

Os marcadores utilizados foram adesivos da cor azul posicionados sobre os eletrodos fixados no lábio superior, lábio inferior e no queixo. A cor selecionada deve-se ao seu grande

contraste com a cor da pele.

A localização de um determinado marcador ocorre em duas fases. Primeiramente define-se uma pequena região retangular dentro da qual o marcador será localizado. A etapa seguinte consiste em encontrar o marcador propriamente dito. A posição do marcador é calculada como a média das posições de todos os pixels selecionados dentro da região retangular (região de busca).

A idéia do uso de regiões de busca baseia-se no fato de que, conhecendo-se a posição de um determinado marcador em uma imagem, é possível restringir a busca por este marcador na próxima imagem à região em torno da sua posição na imagem atual (região de busca).

A definição das regiões de busca consiste na definição de seus centros, já que, para cada marcador, sua altura e largura são constantes. Para a perfeita localização dos marcadores, faz-se necessário que haja apenas um deles em cada região de busca.

Para que as trajetórias obtidas pelos marcadores representem com fidedignidade apenas o movimento das regiões selecionadas, deve-se compensar a movimentação da cabeça que ocorreu naturalmente durante o experimento. Para isso, tomou-se o cuidado de posicionar marcadores nos óculos da participante, uma vez que este move-se juntamente com a cabeça. Assim, na análise dos dados, minimizou-se o movimento indesejado.

A análise dos dados foi realizada por meio de um algoritmo robusto (Barbosa e colaboradores, 2007), desenvolvido por Adriano Vilela Barbosa, durante seu doutorado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. Este algoritmo realiza o rastreamento dos marcadores a partir de imagens de vídeo, além de incluir um procedimento para a compensação do movimento da cabeça, citado acima.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos da atividade eletromiográfica das regiões analisadas, do rastreamento dos marcadores faciais e da correlação entre os sinais.

Capítulo 4 - Resultados

4.1 Atividade Eletromiográfica

Para a análise dos dados eletromiográficos foram obtidos os valores máximos da atividade eletromiográfica e o rms (raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores das amostras) como pode ser verificado nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3. Os valores da atividade eletromiográfica, expressos em microvolts, foram obtidos após o processo de pré-amplificação dos sinais. As figuras referentes a todas atividades eletromiográficas de sílabas e palavras encontram-se nos apêndices A e B, respectivamente.

Observando-se a atividade eletromiográfica para o monossílabo /pa/ (Figura 4.1) e para o monossílabo /ba/ (Figura 4.15), verifica-se que, para todas as regiões pesquisadas (lábio superior, lábio inferior e queixo), houve ativação muscular antes da produção do monossílabo, retratando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes da produção desses fonemas oclusivos bilabiais (/p/ e /b/). A contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,15mV e 0,20mV respectivamente) quando comparada com o lábio inferior (0,12mV e 0,16mV respectivamente) e com o lábio superior (0,15mV e 0,12mV respectivamente). O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,83mV e 0,88mV respectivamente) que para o lábio inferior (0,62mV e 0,54mV respectivamente) e lábio superior (0,74mV e 0,39mV respectivamente).

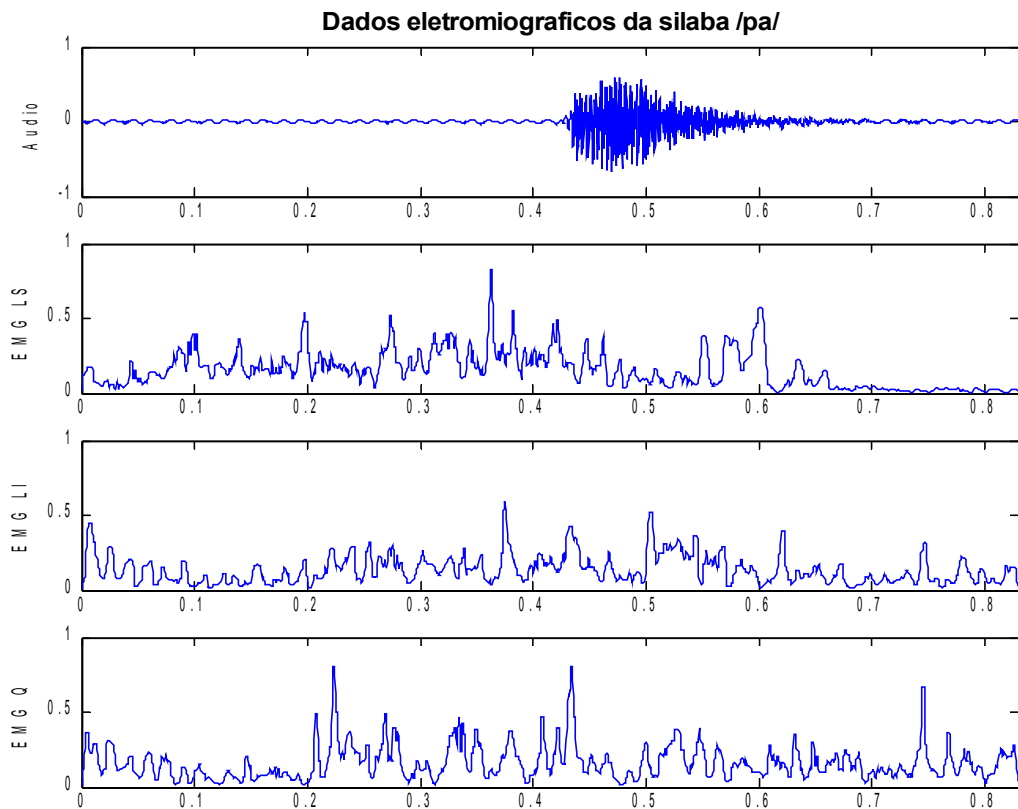


Figura 4.1 Dados eletromiográficos do monossílabo /pa/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

No que se refere à produção do monossílabo /da/ (Figura 4.16), observa-se que a atividade eletromiográfica mostrou-se sem muitas variações durante e imediatamente antes da emissão acústica, demonstrando a fraca contração dos músculos das regiões avaliadas. Estes resultados eram esperados uma vez que, para a produção do fonema /d/, não há grande participação das regiões analisadas, já que o fonema apresenta ponto de articulação linguodental, diferentemente, por exemplo, do fonema /b/ (bilabial), no qual há intensa participação dos lábios. A contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,13mV) quando comparada com o lábio inferior (0,10mV) e o lábio superior (0,06mV). O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,48mV) que para o lábio inferior (0,27mV) e lábio superior (0,22mV).

Assim como na produção do monossílabo /da/, em que houve pouca atividade eletromiográfica durante e imediatamente antes da emissão acústica, o mesmo ocorreu na produção dos monossílabos /ga/ (Figura 4.17), /za/ (Figura 4.7), /ta/ (Figura 4.12), /ka/ (Figura 4.10) e /sa/ (Figura 4.18). Este fato deve-se à pouca participação das regiões na produção dos referidos fonemas. Mais uma vez, atribui-se tal acontecimento ao ponto de articulação dos fonemas e da posição dos lábios para a emissão dos mesmos. Para os

fonemas /d/, /t/, /s/ e /z/, cujo ponto de articulação é linguodental, e para os fonemas /g/ e /k/, em que o ponto de articulação é velar, a participação dos lábios é mínima. Quanto aos valores da atividade eletromiográfica para os monossílabos /ga/, /za/, /ta/, /ka/ e /sa/ observa-se que a contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,08mV, 0,12mV, 0,09mV, 0,08mV e 0,12mV respectivamente) quando comparada com o lábio inferior (0,06mV, 0,08mV, 0,06mV, 0,06mV e 0,09mV respectivamente) e lábio superior (0,03mV, 0,05mV, 0,03mV, 0,03mV e 0,07mV respectivamente). O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,36mV, 0,49mV, 0,38mV, 0,34mV e 0,47mV respectivamente), que para o lábio inferior (0,26mV, 0,33mV, 0,18mV, 0,29mV e 0,39mV respectivamente) e lábio superior (0,14mV, 0,33mV, 0,15mV, 0,17mV e 0,47 respectivamente).

Observando-se a atividade eletromiográfica para o monossílabo /va/ (Figura 4.2), verifica-se que para todas as regiões pesquisadas (lábio superior, lábio inferior e queixo) houve ativação muscular antes da produção do monossílabo, demonstrando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes desse fonema fricativo labiodental. A contração muscular média (rms) da região do lábio superior apresentou maior valor (0,19mV) quando comparada com o lábio inferior (0,11mV) e o queixo (0,10mV). O pico de contração também foi maior para a região do lábio superior (0,83mV) que para o lábio inferior (0,51mV) e queixo (0,43mV).

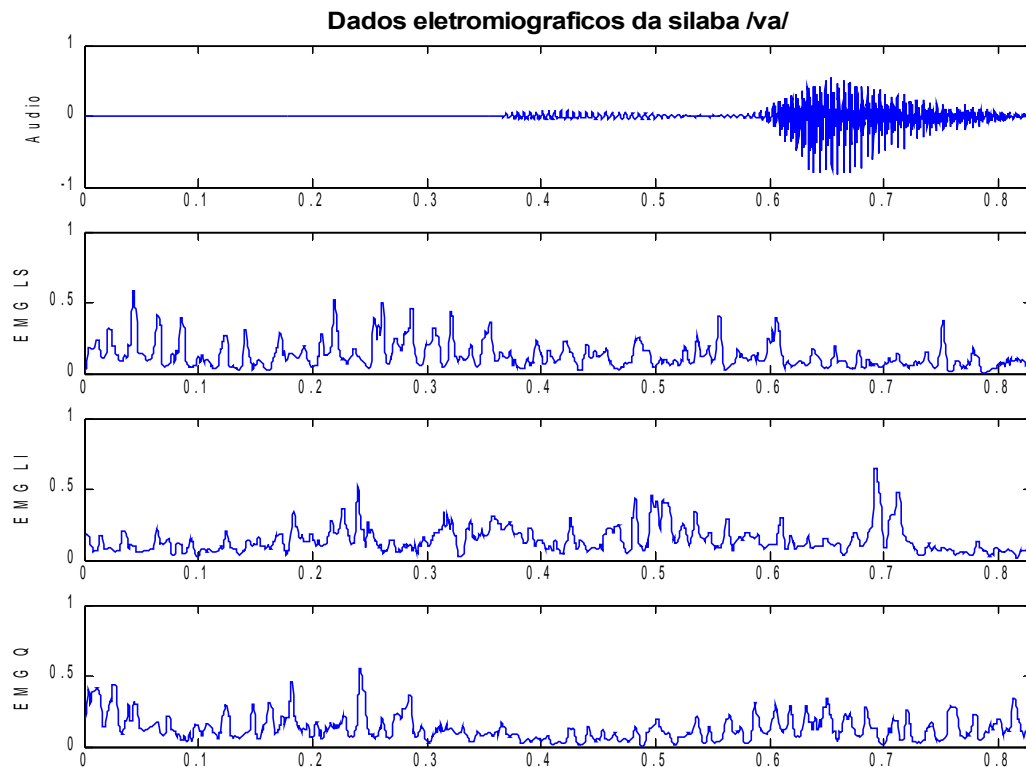


Figura 4.2 Dados eletromiográficos do monossílabo /va/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

A atividade eletromiográfica do monossílabo /fa/ (Figura 4.6) mostrou-se similar quanto aos valores da contração muscular média para as regiões pesquisadas (lábio inferior 0,15mV, lábio superior 0,15mV e região do queixo 0,14mV). O pico de contração foi maior para a região do lábio superior (0,82mV) que para o lábio inferior (0,68mV) e queixo (0,53mV), assim como observado no monossílabo /va/.

No que diz respeito à atividade eletromiográfica para os monossílabos /ja/ (Figura 4.19) e /cha/ (Figura 4.20), verifica-se que houve ativação muscular antes da produção de ambos os monossílabos, indicando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes desses fonemas fricativos alveolopalatais. A contração muscular média (rms) da região do lábio superior para o monossílabo /ja/ apresentou maior valor (0,25mV) quando comparada com o lábio inferior (0,16mV) e o queixo (0,15mV). O pico de contração também foi maior para a região do lábio superior (0,88mV) que para o lábio inferior (0,67mV) e queixo (0,61mV). No caso do monossílabo /cha/ foi a região do queixo que apresentou o maior valor da contração média (0,25mV) em relação às demais regiões (lábio inferior 0,19mV e lábio superior 0,20mV). Por fim, observando-se o pico de contração durante o monossílabo /cha/, verifica-se que esta foi maior para a região do queixo (1,44mV) que para o lábio inferior

(0,76mV) e lábio superior (0,78mV). Convém ressaltar que, apesar dos fonemas /x/ e /j/ possuírem ponto de articulação no qual o lábio não é o articulador ativo (apresentam ponto de articulação alveolopalatal), há uma protusão dos lábios para a produção desses fonemas, o que explica a atividade eletromiográfica observada.

Tabela 4.1 Dados eletromiográficos dos monossílabos. LS: lábio superior; LI: lábio inferior. rms: raiz da média quadrática. Max: máximo. mV: microvolts.

Região Perioral	Monossílabo	rms (mV)	Máx. (mV)	Região Perioral	Monossílabo	rms (mV)	Máx. (mV)
LS	Ba	0,12	0,39	LS	Pa	0,15	0,74
LI		0,16	0,54	LI		0,12	0,62
Queixo		0,20	0,88	Queixo		0,15	0,83
LS	Da	0,06	0,22	LS	Ta	0,03	0,15
LI		0,10	0,27	LI		0,06	0,18
Queixo		0,13	0,48	Queixo		0,09	0,38
LS	Ga	0,03	0,14	LS	Ka	0,03	0,17
LI		0,06	0,26	LI		0,06	0,29
Queixo		0,08	0,36	Queixo		0,08	0,34
LS	Va	0,19	0,83	LS	Fa	0,15	0,82
LI		0,11	0,51	LI		0,15	0,68
Queixo		0,10	0,43	Queixo		0,14	0,53
LS	Za	0,05	0,33	LS	Sa	0,07	0,47
LI		0,08	0,33	LI		0,09	0,39
Queixo		0,12	0,49	Queixo		0,12	0,47
LS	Ja	0,25	0,88	LS	Sha	0,20	0,78
LI		0,16	0,67	LI		0,19	0,76
Queixo		0,15	0,61	Queixo		0,25	1,44

A seguir será apresentada a análise eletromiográfica das palavras cujo fonema de interesse se encontra no início das mesmas.

Observando-se a atividade eletromiográfica para a palavra /pato/ (Figura 4.3) e para a palavra /bata/ (Figura 4.21) verifica-se que, para todas as regiões pesquisadas (lábio superior, lábio inferior e queixo), houve ativação muscular antes da produção das palavras, retratando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes dos fonemas oclusivos bilabiais (/p/ e /b/), assim como foi observado para a produção dos monossílabos /pa/ e /ba/. A contração muscular média (rms) da região do queixo para a primeira sílaba das palavras apresentou maior valor (0,23mV para ambos) quando comparada com o lábio inferior (0,20mV para ambos) e com o lábio superior (0,20mV e 0,12mV respectivamente). O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,74mV e 1,29mV respectivamente) que para o lábio inferior (0,64mV e 0,61mV respectivamente) e lábio superior (0,60 e 0,39mV respectivamente).

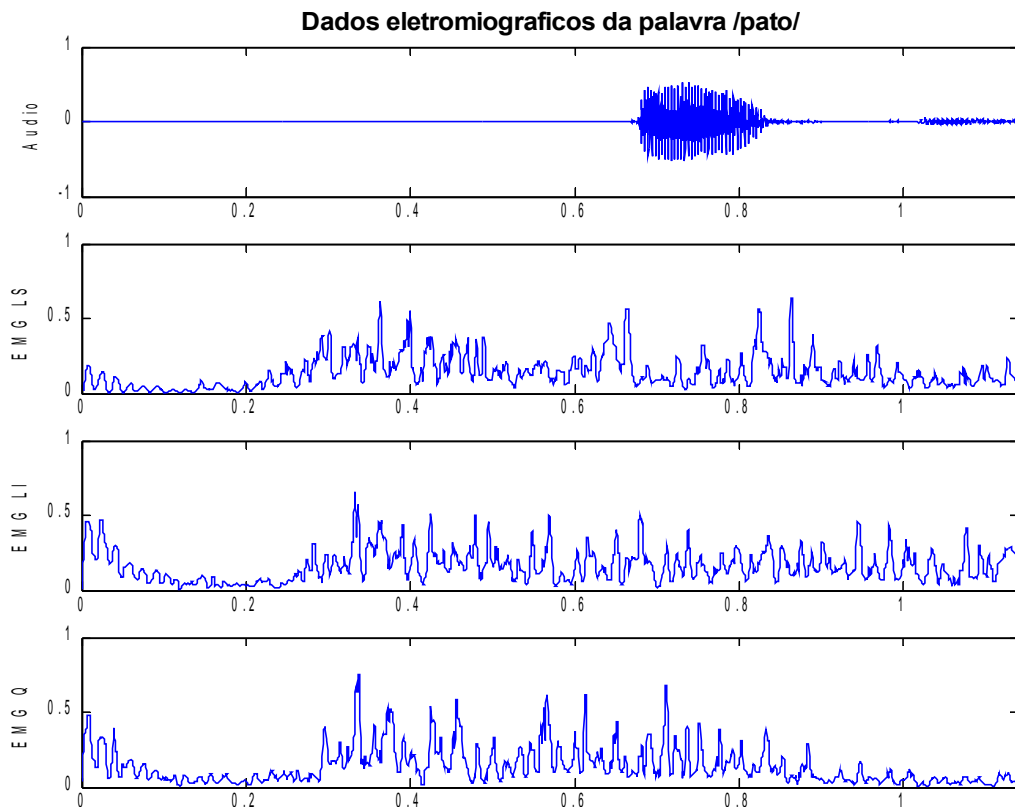


Figura 4.3 Dados eletromiográficos da palavra /pato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

No que se refere à produção das palavras /data/ (Figura 4.22) e /tato/ (Figura 4.23), observa-se que a atividade eletromiográfica mostrou-se sem muitas variações durante e imediatamente antes da emissão acústica da primeira sílaba, que contém o fonema em questão, demonstrando a pequena contração dos músculos das regiões avaliadas. Estes resultados eram esperados uma vez que, para a produção dos fonemas /d/ e /t/, não há grande participação das regiões, já que os fonemas apresentam ponto de articulação linguodental. A contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,14mV e 0,22mV respectivamente) quando comparada com o lábio inferior (0,11mV e 0,15mV respectivamente) e o lábio superior (0,06mV e 0,07mV respectivamente) para ambas palavras. O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,43mV e 0,65mV) que para o lábio inferior (0,35mV e 0,38mV) e lábio superior (0,19mV e 0,22mV respectivamente) tanto para a palavra /data/ quanto para /tato/.

Assim como para as palavras /data/ e /tato/, na produção da primeira sílaba das palavras /zaga/ (Figura 4.24), /saco/ (Figura 4.25), /gato/ (Figura 4.26) e /caco/ (Figura 4.27), houve pouca atividade eletromiográfica durante e imediatamente antes da emissão acústica. O mesmo ocorreu para as sílabas /da/ e /ta/ das palavras /data/ e /tato/. Este fato deve-se à pouca

participação das regiões analisadas na produção dos referidos fonemas. Os fonemas /z/ e /s/, apresentando ponto de articulação linguodental e os fonemas /g/ e /k/ apresentando ponto de articulação velar representam fonemas cuja participação dos lábios é mínima. A análise eletromiográfica das palavras em questão demonstra que a contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,16mV, 0,18mV, 0,16mV, 0,19mV respectivamente) quando comparada com o lábio inferior (0,10mV, 0,18mV, 0,11mV, 0,13mV respectivamente) e lábio superior (0,04mV, 0,06mV, 0,05mV, 0,04mV). O pico de contração também foi maior nas palavras /zaga/, /gato/ e /caco/ para a região do queixo (0,48mV, 0,56mV e 0,63mV respectivamente), que para o lábio inferior (0,32mV, 0,35mV e 0,35mV) e lábio superior (0,17mV, 0,37mV, 0,18mV respectivamente). Para a palavra /saco/ o pico de contração foi maior para a região do lábio inferior (0,80mV) que para as demais regiões (queixo 0,71mV e lábio superior 0,27mV).

Observando-se a atividade eletromiográfica para a palavra /vaca/ (Figura 4.4), verifica-se que para todas as regiões pesquisadas (lábio superior, lábio inferior e queixo) houve ativação muscular antes da produção da sílaba, demonstrando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes do fonema fricativo labiodental /v/. A contração muscular média (rms) da região do lábio superior apresentou maior valor (0,21mV) quando comparada com o lábio inferior (0,14mV) e o queixo (0,14mV) para a sílaba /va/. O pico de contração também foi maior para a região do lábio superior (1,34mV) que para o lábio inferior (0,38mV) e queixo (0,46mV).

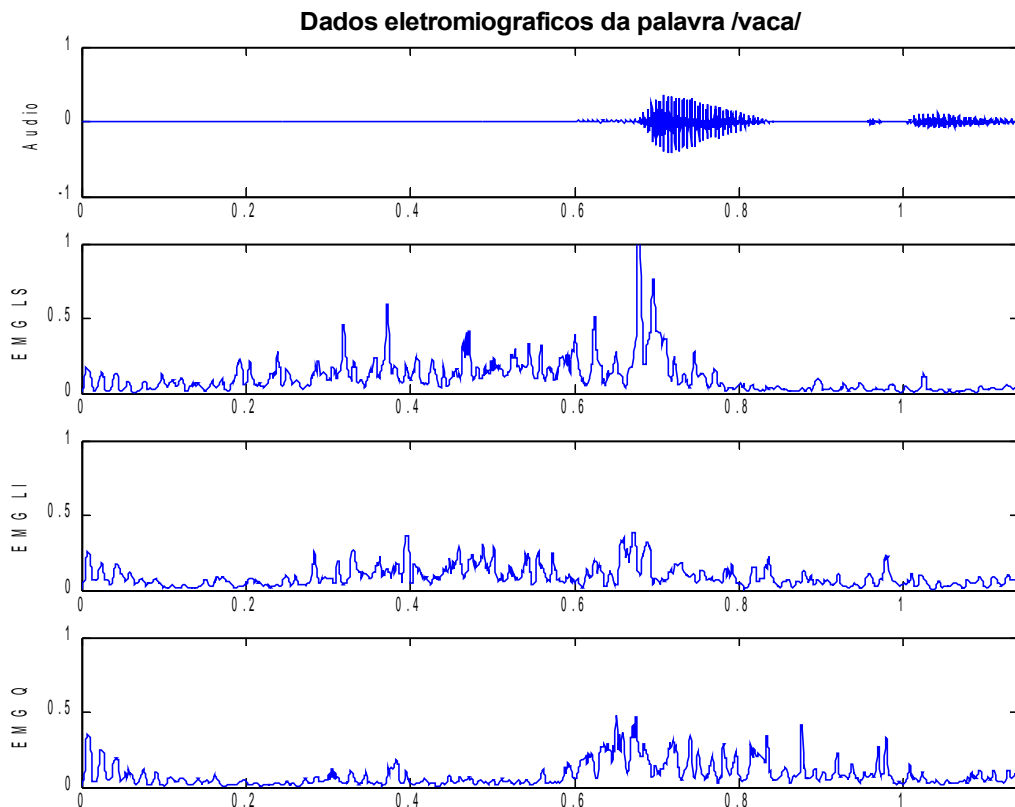


Figura 4.4 Dados eletromiográficos da palavra /vaca/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

A atividade eletromiográfica da sílaba /fa/ da palavra /faca/ (Figura 4.28) mostrou-se similar quanto aos valores da contração muscular média para as regiões do lábio inferior (0,17mV) e lábio superior (0,17mV). Para a região do queixo, o valor da contração média foi de 0,12mV. O pico de contração foi maior para a região do lábio inferior (0,62mV) que para o lábio superior (0,53mV) e queixo (0,46mV).

No que diz respeito à atividade eletromiográfica para as palavras /jato/ (Figura 4.29) e /chato/ (Figura 4.14), verifica-se que houve ativação muscular antes da produção dos fonemas /j/ e /x/, indicando a contração muscular proveniente dos lábios e queixo imediatamente antes desses fonemas fricativos alveolopalatais. A contração muscular média (rms) da região do lábio superior para a sílaba /ja/ da palavra /jato/ apresentou maior valor (0,22mV) quando comparada com o lábio inferior (0,20mV) e o queixo (0,20mV). O pico de contração também foi maior para a região do lábio superior (0,72mV) que para o lábio inferior (0,70mV) e queixo (0,61mV). No caso da sílaba /cha/ da palavra /chato/ foi a região do lábio inferior que apresentou valor ligeiramente maior da contração média (0,26mV) em relação às demais regiões (lábio superior 0,25mV e queixo 0,21mV). Por fim, observando-se o pico de

contração durante a palavra /chato/, verifica-se que esta foi maior para a região do lábio inferior (0,86mV) que para o lábio superior (0,81mV) e queixo (0,75mV). Conforme ressaltado anteriormente, há uma protusão dos lábios para a produção dos fonemas /j/ e /x/, o que explica a atividade eletromiográfica observada.

Tabela 4.2 Dados estatísticos das palavras cujo fonema de interesse encontra-se no início da palavra. LS: lábio superior; LI: lábio inferior. rms: raiz da média quadrática. Max: máximo. mV: microvolts.

Região Perioral	Palavra	rms (mV)	Máx. (mV)	Região Perioral	Palavra	rms (mV)	Máx. (mV)
LS	Bata	0,12	0,39	LS	Pato	0,20	0,60
LI		0,20	0,61	LI		0,20	0,64
Queixo		0,23	1,29	Queixo		0,23	0,74
LS	Data	0,06	0,19	LS	Tato	0,07	0,22
LI		0,11	0,35	LI		0,15	0,38
Queixo		0,14	0,43	Queixo		0,22	0,65
LS	Gato	0,05	0,37	LS	Caco	0,04	0,18
LI		0,11	0,35	LI		0,13	0,35
Queixo		0,16	0,56	Queixo		0,19	0,63
LS	Vaca	0,21	1,34	LS	Faca	0,17	0,53
LI		0,14	0,38	LI		0,17	0,62
Queixo		0,14	0,46	Queixo		0,12	0,46
LS	Zaga	0,04	0,17	LS	Saco	0,06	0,27
LI		0,10	0,32	LI		0,18	0,80
Queixo		0,16	0,48	Queixo		0,18	0,71
LS	Jato	0,22	0,72	LS	Chato	0,25	0,81
LI		0,20	0,70	LI		0,26	0,86
Queixo		0,20	0,61	Queixo		0,21	0,75

Finalmente, a análise eletromiográfica das palavras cujo fonema de interesse se encontra no início da segunda sílaba das mesmas é apresentada a seguir.

Observando-se a atividade eletromiográfica para a segunda sílaba das palavras /fubá/ (Figura 4.5), /andar/ (Figura 4.30), /pagar/ (Figura 4.31), /cavar/ (Figura 4.32), /casar/ (Figura 4.33), /sofá/ (Figura 4.34) e /caçar/ (Figura 4.8) verifica-se que a contração muscular média (rms) da região do queixo apresentou maior valor (0,24mV, 0,16mV, 0,19mV, 0,12mV, 0,18mV, 0,22mV e 0,24mV respectivamente) quando comparada com o lábio inferior (0,20mV, 0,13mV, 0,16mV, 0,10mV, 0,13mV, 0,18mV e 0,14mV respectivamente) e com o lábio superior (0,06mV, 0,03mV, 0,05mV, 0,10mV, 0,04mV, 0,15mV, 0,07mV respectivamente). O pico de contração também foi maior para a região do queixo (0,75mV, 0,49mV, 0,70mV, 0,43mV, 0,48mV, 0,87mV e 0,81mV respectivamente) que para o lábio inferior (0,63mV, 0,42mV, 0,67mV, 0,35mV, 0,40mV, 0,74mV e 0,39mV) e lábio superior (0,21mV, 0,08mV, 0,14mV, 0,35mV, 0,13mV, 0,61mV, 0,25mV respectivamente).

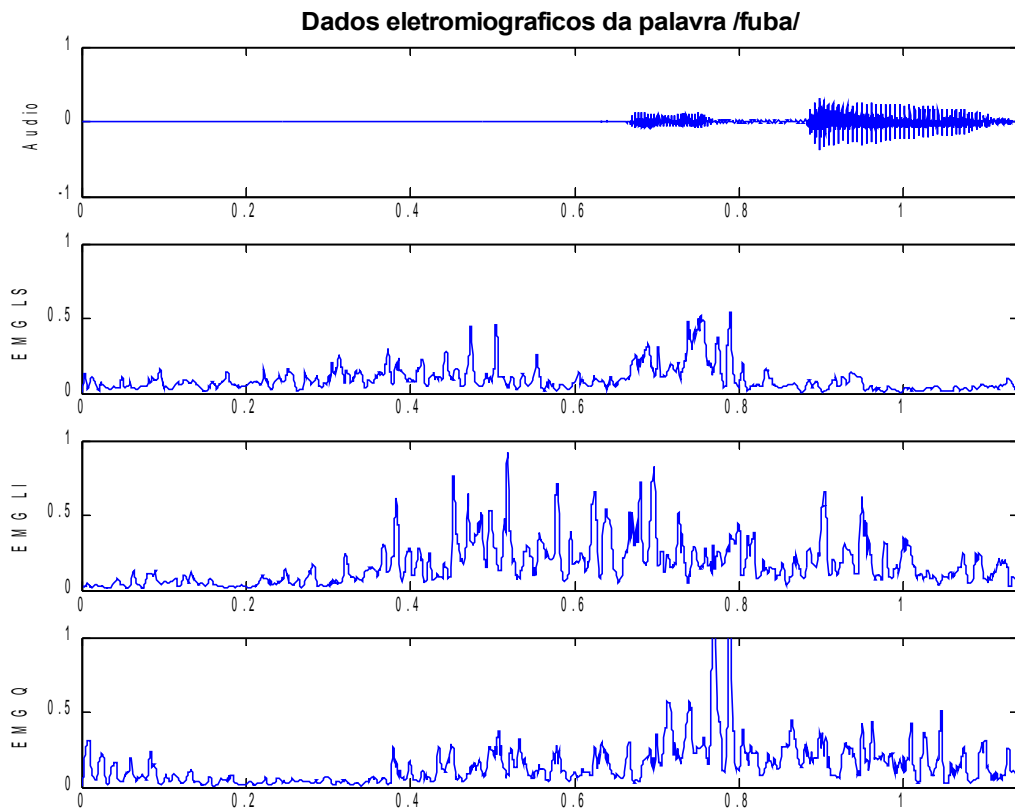


Figura 4.5 Dados eletromiográficos da palavra /fuba/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

No que se refere à produção das palavras /caja/ (Figura 4.35), /cortar/ (Figura 4.36), /tocar/ (Figura 4.37) e /achar/ (Figura 4.38) nota-se que a contração muscular média (rms) da região do lábio inferior apresentou maior valor (0,22mV, 0,18mV, 0,19mV e 0,18mV respectivamente) para a segunda sílaba dessas palavras, quando comparada com o lábio superior (0,16mV, 0,07mV, 0,04mV e 0,18mV respectivamente) e o queixo (0,20mV, 0,17mV, 0,16mV e 0,15mV respectivamente). O pico de contração também foi maior para a região do lábio inferior (0,62mV, 0,59mV, 0,61mV e 0,65mV) que para o lábio superior (0,50mV, 0,33mV, 0,10mV e 0,48mV) e queixo (0,53mV, 0,54mV, 0,48mV e 0,37mV respectivamente).

Quanto à produção da palavra /tampar/ (Figura 4.39), observou-se que, para a sequência consoante-vogal da segunda sílaba da palavra (ou seja, /pa/) a contração muscular média do lábio inferior (0,21mV) foi mais intensa que para as outras duas regiões (lábio superior, 0,13mV, e queixo 0,20mV). Já o pico de contração do lábio superior (0,65mV) foi levemente superior ao pico de contração do queixo (0,62mV) e lábio inferior (0,58mV).

Tabela 4.3 Dados estatísticos das palavras cujo fonema de interesse encontra-se no início da segunda sílaba da palavra. LS: lábio superior; LI: lábio inferior. rms: raiz da média quadrática. Max: máximo. mV: microvolts.

Região Perioral	Palavra	rms (mV)	Máx. (mV)	Região Perioral	Palavra	rms (mV)	Máx. (mV)
LS	Fubá	0,06	0,21	LS	Tampar	0,13	0,65
LI		0,20	0,63	LI		0,21	0,58
Queixo		0,24	0,75	Queixo		0,20	0,62
LS	Andar	0,03	0,08	LS	Cortar	0,07	0,33
LI		0,13	0,42	LI		0,18	0,59
Queixo		0,16	0,49	Queixo		0,17	0,54
LS	Pagar	0,05	0,14	LS	Tocar	0,04	0,10
LI		0,16	0,67	LI		0,19	0,61
Queixo		0,19	0,70	Queixo		0,16	0,48
LS	Cavar	0,10	0,35	LS	Sofá	0,15	0,61
LI		0,10	0,35	LI		0,18	0,74
Queixo		0,12	0,43	Queixo		0,22	0,87
LS	Casar	0,04	0,13	LS	Caçar	0,07	0,25
LI		0,13	0,40	LI		0,14	0,39
Queixo		0,18	0,48	Queixo		0,24	0,81
LS	Cajá	0,16	0,50	LS	Achar	0,18	0,48
LI		0,22	0,62	LI		0,18	0,65
Queixo		0,20	0,53	Queixo		0,15	0,37

A Tabela 4.4 apresenta o comportamento da contração eletromiográfica média de cada fonema considerando-se a sílaba e as diferentes posições do fonema nas palavras. Poderia-se esperar que os valores da atividade muscular fossem aproximadamente os mesmos para os monossílabos e para o primeiro grupo de palavras (em que o fonema encontra-se no início das mesmas) para todas as regiões, uma vez que, tanto para a sílaba quanto para a palavra, o segmento inicial da produção é o mesmo (fonema + vogal /a/). Entretanto, esse fato não ocorreu para a maioria dos fonemas.

Acredita-se que a diferença observada nos dados deve-se a vários fatores. Um deles refere-se a diferenças no planejamento motor para a produção de sílabas e palavras. Considerando-se que as palavras selecionadas foram dissílabos, a segunda sílaba tem influência sobre a produção da primeira, devido ao encadeamento dos fonemas e ao planejamento motor que o locutor realiza antes da emissão acústica. Outro fator a ser considerado é a variação da tonicidade das sílabas nas palavras selecionadas. Apesar de ter-se tomado cuidado para que os fonemas pesquisados estivessem sempre na sílaba tônica (no caso das palavras), deve-se ressaltar que a tonicidade de uma mesma sílaba varia conforme a palavra analisada, uma vez que, dependendo dos segmentos adjacentes à sílaba em questão, esta pode ser produzida com uma tonicidade maior ou menor. Além disso, deve-se levar em consideração a presença de alto nível de ruído nos sinais, comprometendo a fidedignidade dos resultados. Atribui-se o elevado nível de ruído ao uso de eletrodos de superfície convencionais que se demonstraram insuficientes para detectar a atividade eletromiográfica da região

orofacial com níveis de tensão significativamente superiores ao nível de ruído.

Quanto à comparação da atividade eletromiográfica entre os fonemas nas sílabas e no segundo grupo de palavras (em que o fonema encontra-se no início da segunda sílaba), também foram observadas diferenças nos valores da atividade muscular.

Tabela 4.4. Comparação dos dados eletromiográficos (rms) dos fonemas em sílabas e palavras. mV: microvolts.

Fonema /p/				Fonema /b/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
pa	0,15mV	0,12mV	0,15mV	ba	0,12mV	0,16mV	0,20mV
pato	0,20mV	0,20mV	0,23mV	bata	0,12mV	0,20mV	0,23mV
tampar	0,13mV	0,21mV	0,20mV	fubá	0,06mV	0,20mV	0,24mV
Fonema /k/				Fonema /g/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
ca	0,03mV	0,06mV	0,08mV	ga	0,03mV	0,06mV	0,08mV
caco	0,04mV	0,13mV	0,19mV	gato	0,05mV	0,11mV	0,16mV
tocar	0,04mV	0,19mV	0,16mV	pagar	0,05mV	0,16mV	0,19mV
Fonema /t/				Fonema /d/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
ta	0,03mV	0,06mV	0,09mV	da	0,06mV	0,10mV	0,13mV
tato	0,07mV	0,15mV	0,22mV	data	0,06mV	0,11mV	0,14mV
cortar	0,07mV	0,18mV	0,17mV	andar	0,03mV	0,13mV	0,16mV
Fonema /f/				Fonema /v/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
fa	0,15mV	0,15mV	0,14mV	va	0,19mV	0,11mV	0,10mV
faca	0,17mV	0,17mV	0,12mV	yaca	0,21mV	0,14mV	0,14mV
sofá	0,15mV	0,18mV	0,22mV	cayar	0,10mV	0,10mV	0,12mV
Fonema /s/				Fonema /z/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
sa	0,07mV	0,09mV	0,12mV	za	0,05mV	0,08mV	0,12mV
saco	0,06mV	0,18mV	0,18mV	zaga	0,04mV	0,10mV	0,16mV
caçar	0,07mV	0,14mV	0,24mV	caçar	0,04mV	0,13mV	0,18mV
Fonema /x/				Fonema /j/			
	Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo		Lábio sup.	Lábio Inf.	Queixo
chá	0,21mV	0,19mV	0,25mV	já	0,25mV	0,16mV	0,15mV
chato	0,26mV	0,26mV	0,21mV	jato	0,22mV	0,20mV	0,20mV
achar	0,18mV	0,18mV	0,14mV	cajá	0,16mV	0,22mV	0,20mV

4.2 Movimento Facial

Como já citado no capítulo anterior (Metodologia), o rastreamento dos movimentos verticais dos marcadores faciais foi realizado por meio de um algoritmo que extrai a trajetória a partir de imagens de vídeos gravadas.

Observou-se que, em alguns momentos, houve variação da amplitude do movimento sem qualquer indício de atividade eletromiográfica nas regiões pesquisadas. Atribui-se este fato à ausência de captação da ativação muscular das referidas regiões pelos eletrodos de superfície. Como explicitado anteriormente, os eletrodos de superfície convencionais não se mostraram confiáveis à análise eletromiográfica de músculos da face, comprometendo os resultados. Deve-se considerar também a possibilidade de interferência de outros músculos, tendo em vista a presença de alto nível de ruído nos sinais.

Verificou-se que a variação da amplitude do movimento, tanto para os monossílabos quanto para as palavras, foi maior para a região do lábio inferior e queixo que para a região do lábio superior, em virtude da pequena amplitude do movimento vertical deste último durante a fala. A amplitude de movimento do lábio inferior está intimamente ligada ao movimento do queixo, uma vez que a movimentação mandibular leva, conseqüentemente, à movimentação do lábio inferior.

A Figura 4.6 mostra a atividade eletromiográfica e a amplitude do movimento vertical do lábio superior, lábio inferior e queixo na produção do monossílabo /fa/. No que diz respeito à atividade eletromiográfica, observa-se que houve ativação muscular mesmo antes da emissão acústica do monossílabo. Tal fato ocorreu devido à contração muscular dos lábios superior e inferior necessária na produção do fonema fricativo labiodental /f/. Verifica-se que a contração dos músculos da região do queixo, para este caso, foi inferior quando comparada às outras regiões. Quanto à amplitude do movimento vertical observa-se que houve pouca variação para o lábio superior. Analisando-se a amplitude do movimento para o lábio inferior, observa-se que a partir da posição inicial (aproximadamente 265 mm), o lábio inferior eleva-se aproximadamente 10 mm em direção ao lábio superior para a produção do fonema /f/ e abaixa-se no momento em que é produzida a vogal. O mesmo movimento ocorre para o queixo devido ao movimento de abertura e fechamento mandibular.

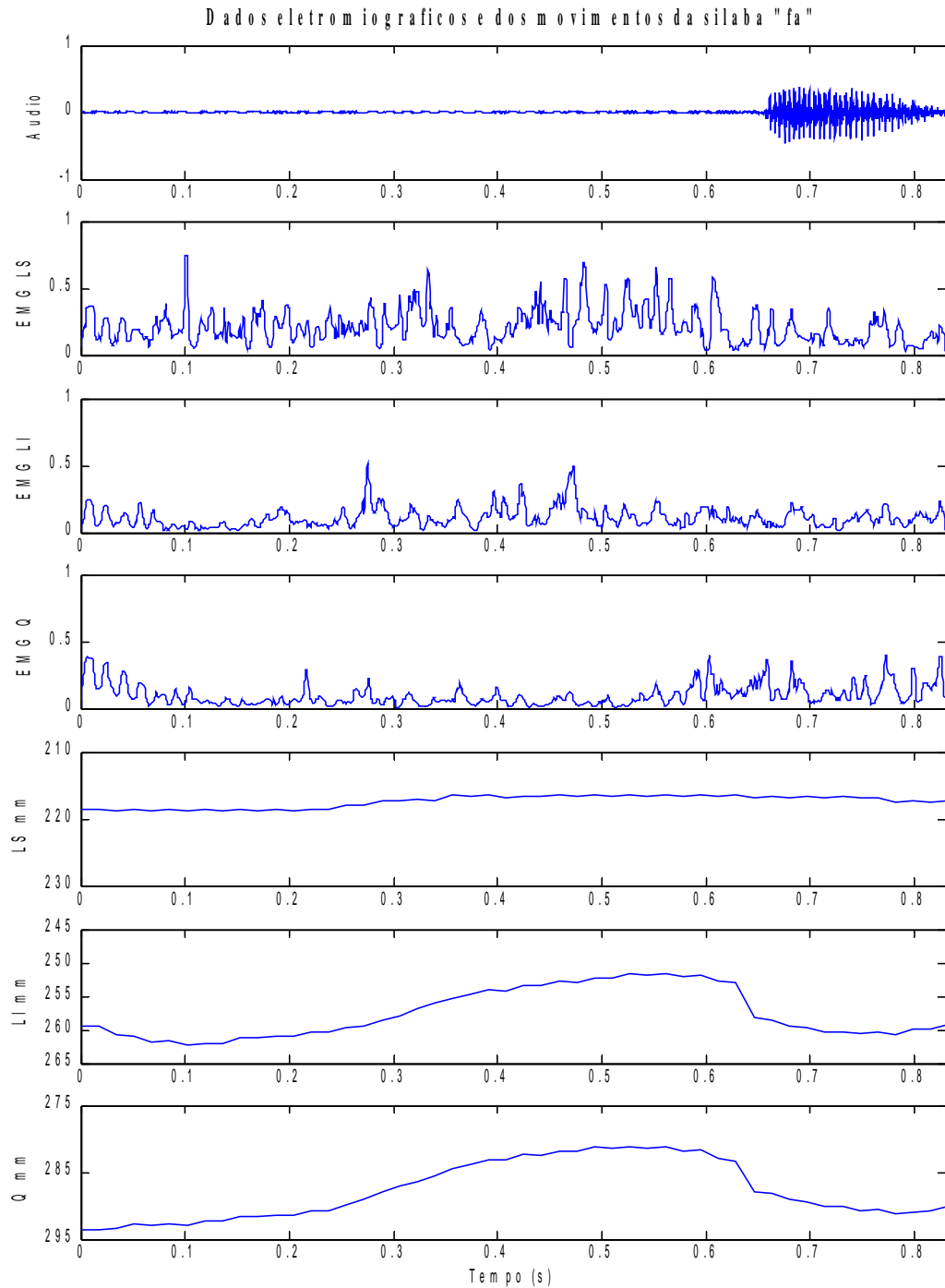


Figura 4.6 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /fa/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

A Figura 4.7 mostra a atividade eletromiográfica e a amplitude do movimento vertical do lábio superior, lábio inferior e queixo na produção do monossílabo /za/. Diferentemente do observado para /fa/, não é possível visualizar variações da atividade eletromiográfica e do movimento vertical dos lábios e queixo durante a emissão acústica, como se esperaria.

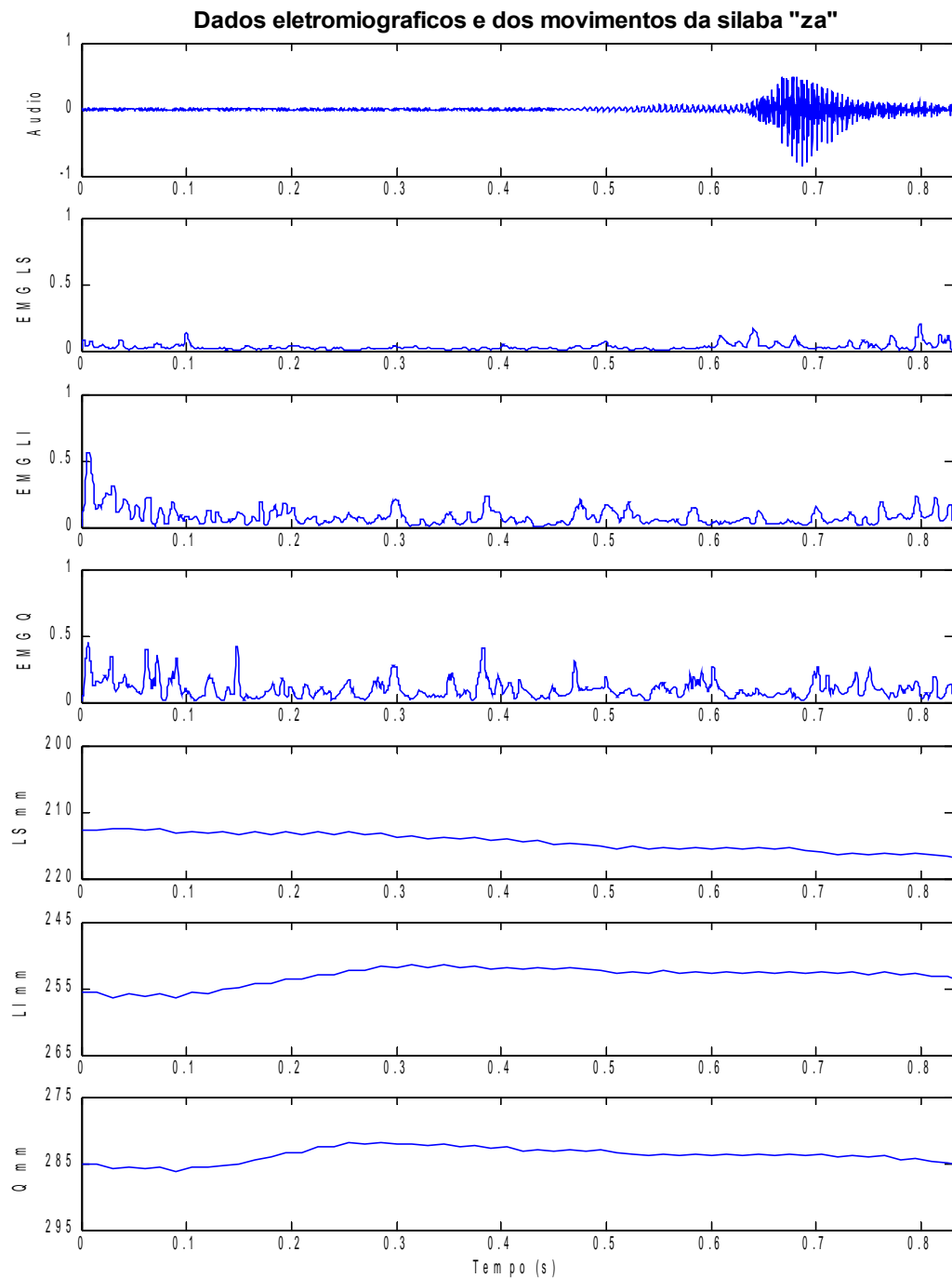


Figura 4.7 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /za/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

Quanto à produção da palavra /pato/, pode-se observar a atividade eletromiográfica e a amplitude do movimento vertical do lábio superior, lábio inferior e queixo. O registro da contração muscular foi visualmente maior para a produção da sílaba /pa/ que para a sílaba /to/ em todas as regiões. Este fato já era esperado tendo em vista que o fonema /p/, por apresentar modo de articulação bilabial, exige contração muscular da região perioral. Quanto à amplitude do movimento vertical, observa-se que houve pouca variação para o lábio superior durante toda a emissão acústica. Por outro lado, é possível visualizar perfeitamente o movimento realizado pelo lábio inferior e queixo. Partindo da posição inicial de 260 mm, aproximadamente, o lábio inferior eleva-se (aproximadamente 12 mm) para promover a oclusão labial necessária à emissão do fonema /p/. No momento em que ocorre a liberação da vogal /a/ o lábio inferior abaixa-se aproximadamente 11 mm e, posteriormente, eleva-se para a produção da sílaba seguinte. O mesmo movimento ocorre para a região do queixo, devido à abertura e fechamento mandibular durante a fala.

Por fim, observa-se na Figura 4.8 que, diferentemente do observado para a palavra /pato/, não é possível estabelecer relação entre as variações da atividade eletromiográfica e do movimento vertical de lábios e queixo para a produção da palavra /caçar/.

Os casos descritos até aqui representam exemplos selecionados. As figuras referentes a todos dados eletromiográficos e movimento facial encontram-se nos apêndices A e B.

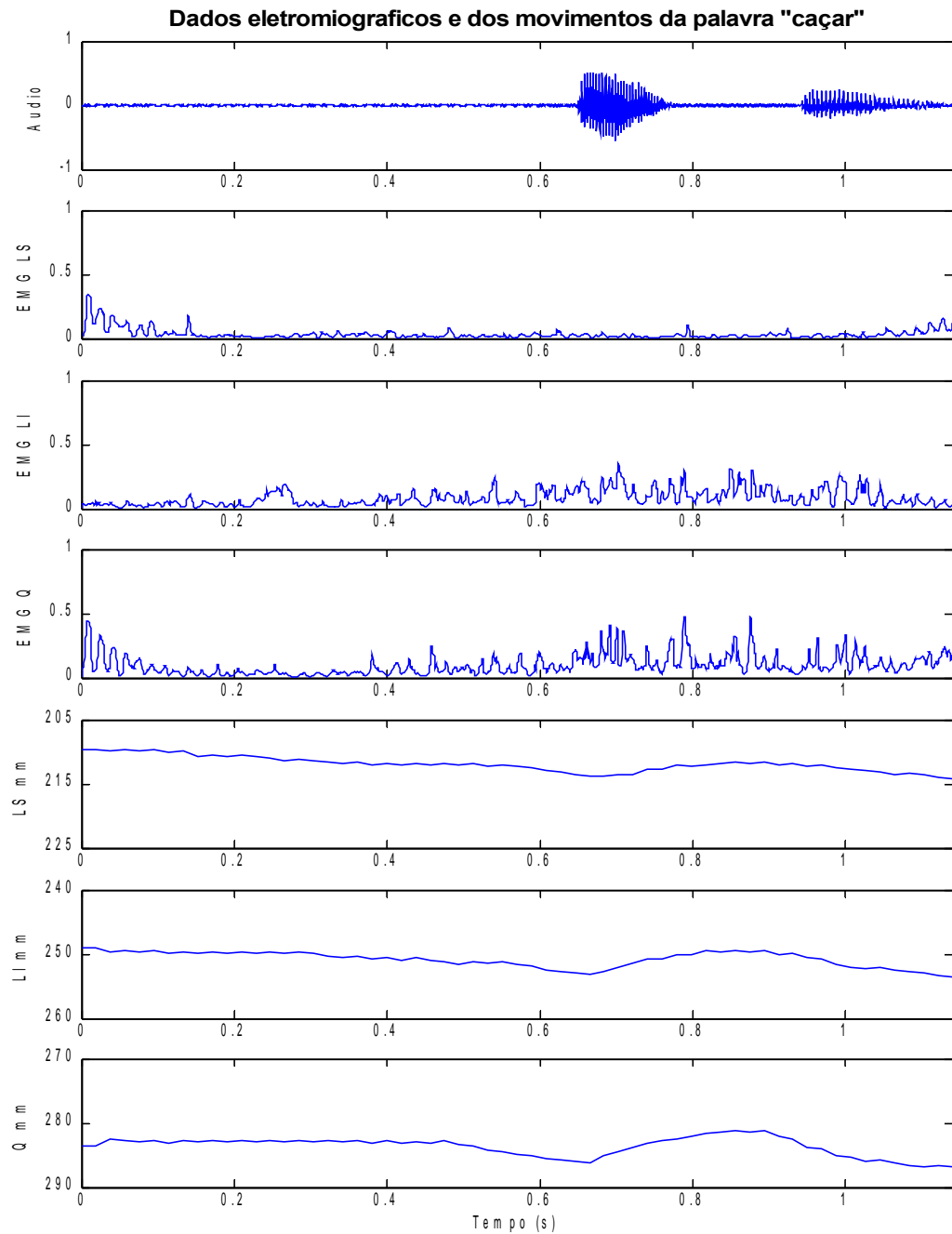


Figura 4.8 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra “caçar”. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

4.3 Correlação entre o movimento facial e a atividade eletromiográfica

A correlação entre o movimento facial e atividade eletromiográfica está detalhada nas Tabelas 4.5 (a), (b), (c) e (d). Pode-se observar que a correlação máxima entre a atividade

muscular e o movimento facial apresentou valores que variaram entre 0,15 e 0,72. Para o número de amostras de cada sinal e os conteúdos espectrais dos sinais de movimento e de atividade eletromiográfica, coeficientes de correlação com magnitude superior a 0,3 foram considerados significativos¹. Das 36 correlações realizadas, apenas 3 apresentaram coeficiente de correlação inferior a 0,3.

As correlações foram obtidas tendo-se como referência os sinais de atividade eletromiográfica. Dessa forma, as correlações cujos picos localizam-se após zero segundo indicam que a correlação máxima ocorreu quando os sinais de amplitude de movimento encontravam-se atrasados em relação aos sinais de atividade eletromiográfica. É importante esclarecer que as correlações entre a atividade eletromiográfica e o movimento do lábio inferior foram relativas à posição do queixo.

A correlação máxima entre a atividade eletromiográfica dos músculos e o movimento facial ocorreu, para a grande parte das correlações (33 em 36), quando os sinais de movimento encontravam-se atrasados em relação aos dados eletromiográficos. Isso demonstra que o movimento facial ocorreu após a despolarização da fibra muscular. Uma possível explicação para o fenômeno consistiria na evidência de que nem toda despolarização muscular reflete em amplitude de movimento perceptível. Na contração isométrica, a fibra muscular altera seu tônus mantendo (ou variando minimamente) seu comprimento. Assim, a atividade eletromiográfica é registrada, porém pouco movimento é verificado. Ressalta-se também que movimentos de protusão dos lábios para a produção de fonemas que exigem arredondamento labial não foram obtidos neste experimento. Isto pode explicar a alta atividade eletromiográfica em detrimento da baixa variação da amplitude do movimento facial durante a produção de determinados fonemas.

Vale ressaltar que, para quatro situações (monossílabo: /ja/ e palavras: andar, caçar, achar), observaram-se valores de correlação antes de zero segundo, ou seja, quando os sinais do movimento encontravam-se adiantados em relação aos sinais eletromiográficos. Atribui-se tal fato à interferência de outros músculos que não foram avaliados nesta pesquisa.

¹ Foram realizadas medidas de coeficiente de correlação entre mil pares de sinais aleatórios sintetizados com números de amostras iguais àqueles dos sinais eletromiográficos e de movimento facial medidos. Os sinais sintetizados foram filtrados de forma a ficarem limitados às mesmas faixas espectrais dos sinais medidos. Uma vez que os coeficientes de correlação entre sinais sintetizados foi sempre inferior a 0,2 para todos os testes realizados, é aceitável supor que a probabilidade de se obter um coeficiente de correlação superior a 0,3 por acaso é desprezível. Assim, coeficientes de correlação superiores a 0,3 foram considerados significativos.

Tabela 4.5a Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras. EMG: eletromiografia. Mov.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

Fonema /p/		
pa	Valor da maior correlação	0,68
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
pato	Valor da maior correlação	0,41
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
tampar	Valor da maior correlação	0,64
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,23
Fonema /b/		
ba	Valor da maior correlação	0,65
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,05
bata	Valor da maior correlação	0,48
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
fubá	Valor da maior correlação	0,46
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
Fonema /t/		
ta	Valor da maior correlação	0,51
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,12
tato	Valor da maior correlação	0,41
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,01
cortar	Valor da maior correlação	0,60
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,34

Tabela 4.5b Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossilabos e palavras. EMG: eletromiografia. Mov.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

Fonema /d/		
da	Valor da maior correlação	0,35
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
data	Valor da maior correlação	0,52
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,05
andar	Valor da maior correlação	0,42
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	(-) 0,02
Fonema /k/		
ca	Valor da maior correlação	0,51
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
caco	Valor da maior correlação	0,49
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,01
tocar	Valor da maior correlação	0,41
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,01
Fonema /g/		
ga	Valor da maior correlação	0,38
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,25
gato	Valor da maior correlação	0,53
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,03
pagar	Valor da maior correlação	0,65
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0

Tabela 4.5c Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras. EMG: eletromiografia. Mov.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

Fonema /f/		
fa	Valor da maior correlação	0,33
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,15
faca	Valor da maior correlação	0,36
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,13
sofá	Valor da maior correlação	0,39
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,31
Fonema /v/		
va	Valor da maior correlação	0,34
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,12
yaca	Valor da maior correlação	0,47
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,02
cavar	Valor da maior correlação	0,49
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
Fonema /s/		
sa	Valor da maior correlação	0,25
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,34
saco	Valor da maior correlação	0,72
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
caçar	Valor da maior correlação	0,44
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	(-) 0,08

Tabela 4.5d Valores da maior correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para monossílabos e palavras. EMG: eletromiografia. Mov.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo.

Fonema /z/		
za	Valor da maior correlação	0,31
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,01
zaga	Valor da maior correlação	0,15
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG Q e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,8
ca^uzar	Valor da maior correlação	0,21
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
Fonema /x/		
cha	Valor da maior correlação	0,55
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0
chato	Valor da maior correlação	0,40
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,34
achar	Valor da maior correlação	0,64
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	(-) 0,15
Fonema /j/		
ja	Valor da maior correlação	0,50
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LS e Mov. LS
	atraso entre os sinais (em segundos)	(-) 0,17
jato	Valor da maior correlação	0,52
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. Q
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,15
cajá	Valor da maior correlação	0,55
	Sinais em que houve a correlação máxima	EMG LI e Mov. LI
	atraso entre os sinais (em segundos)	0,02

A Figura 4.9 mostra a correlação entre as atividades eletromiográficas e as amplitudes dos movimentos faciais para o monossílabo /ka/. Observa-se que a correlação máxima para todas as análises ocorreu quando os sinais da atividade muscular e o movimento encontravam-se sobrepostos. Na figura seguinte, pode-se visualizar a atividade eletromiográfica das regiões e as respectivas amplitudes dos movimentos ao longo da emissão do monossílabo.

Correlação entre a Atividade Eletromiográfica e o Movimento Facial - monossílabo /ka/

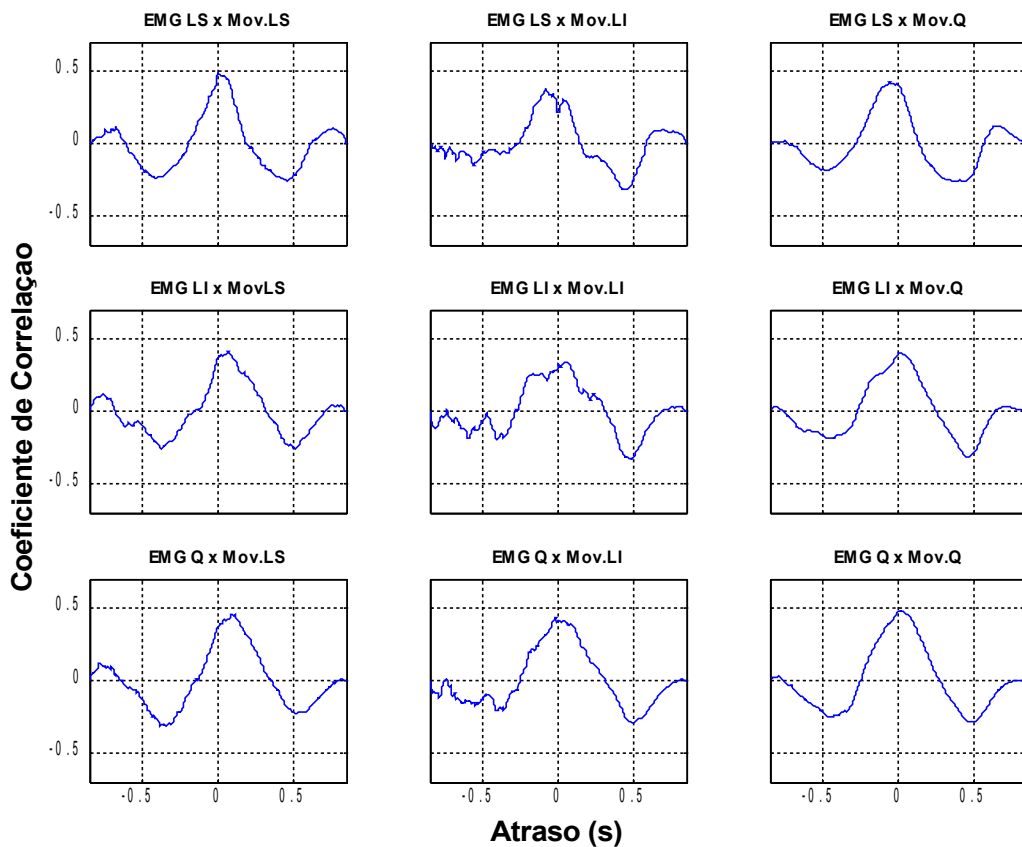


Figura 4.9 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para o monossílabo /ka/. EMG: eletromiografia. MOV.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Eixo x: segundos. Eixo y: correlação.

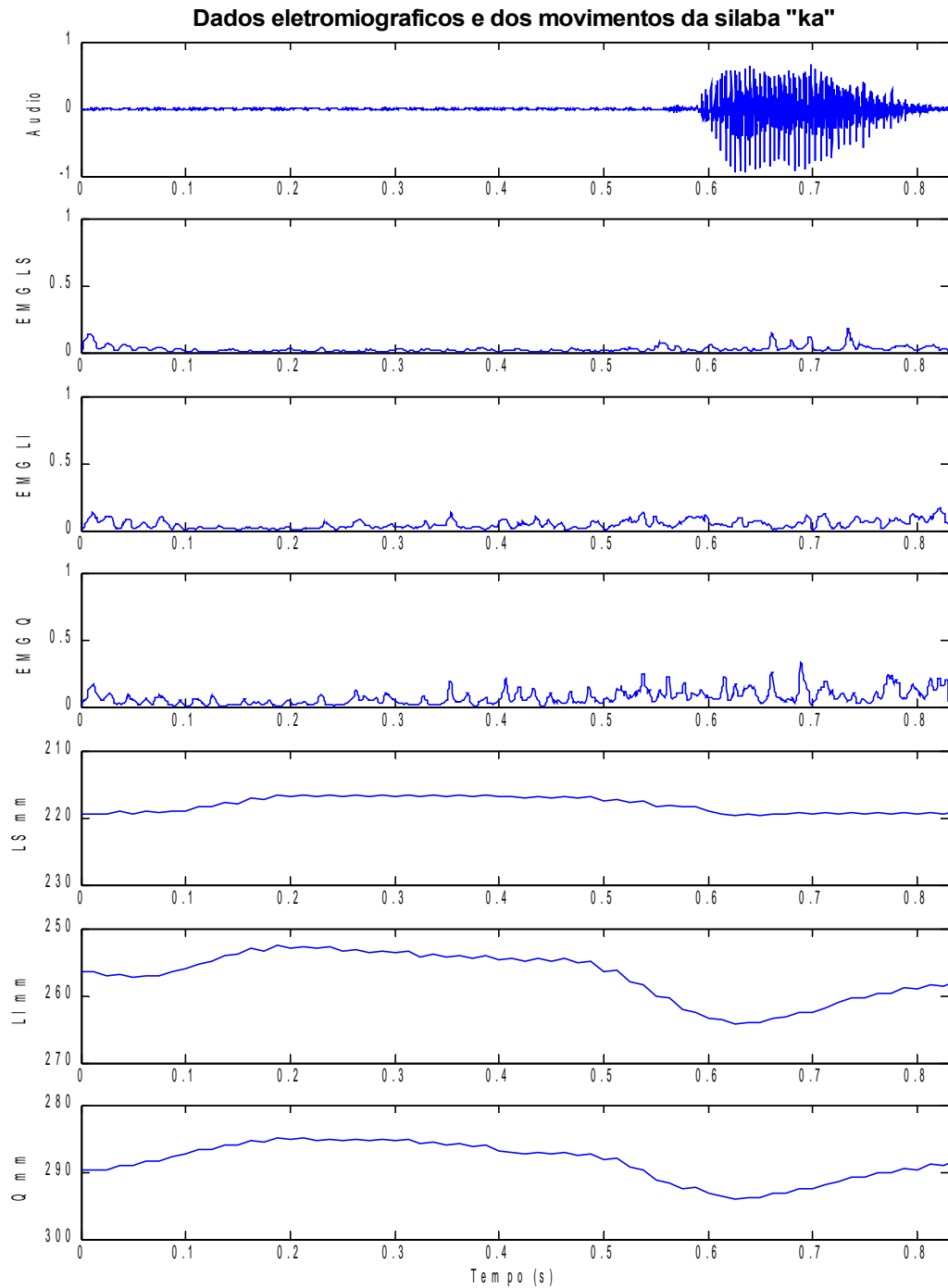


Figura 4.10 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ka/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

Diferentemente do observado para o monossílabo /ka/, para a grande parte dos monossílabos e palavras, as correlações máximas para a atividade eletromiográfica e a amplitude dos movimentos ocorreram com atrasos entre os sinais. É o que pode ser observado nas correlações para o monossílabo /ta/ (Figura 4.11). Verifica-se que a correlação máxima ocorre quando o movimento facial encontra-se atrasado em relação à despolarização das fibras musculares, indicando que o movimento facial ocorreu após a ativação muscular.

Correlação entre a Atividade Eletromiográfica e o Movimento Facial - monossílabo /ta/

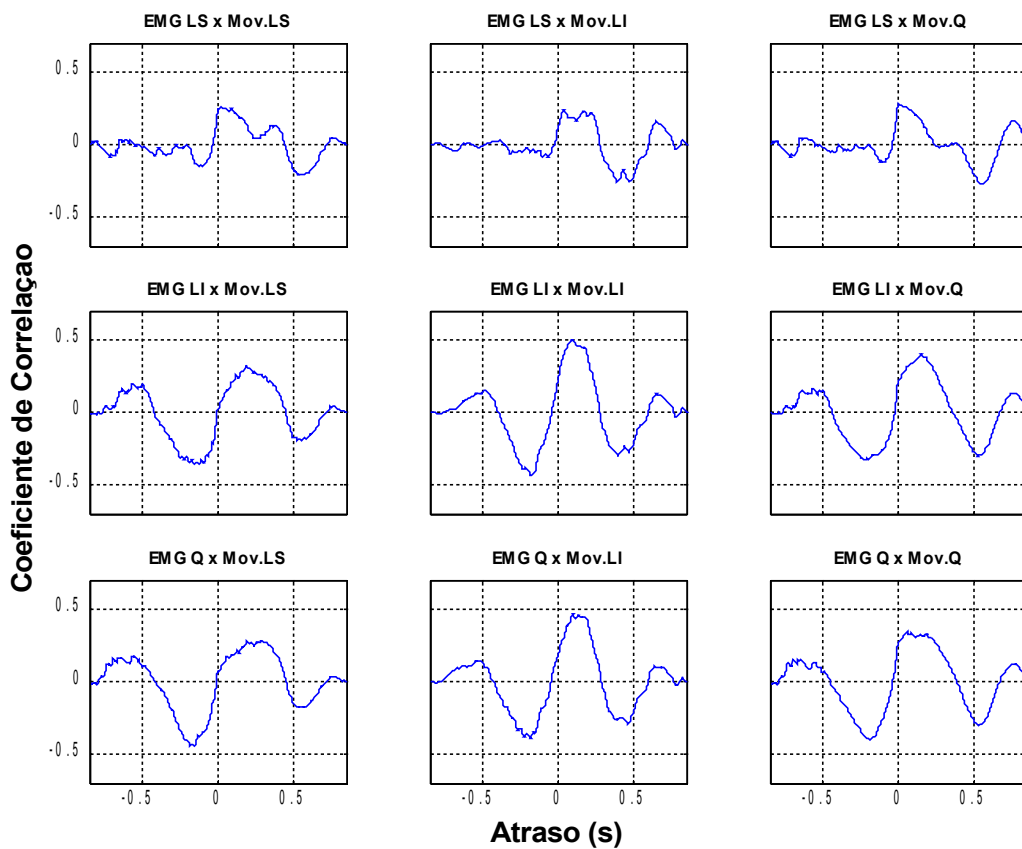


Figura 4.11 Correlação entre a atividade eletromiográfica e movimento para o monossílabo /ta/. EMG: eletromiografia. MOV.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Eixo x: segundos. Eixo y: correlação.

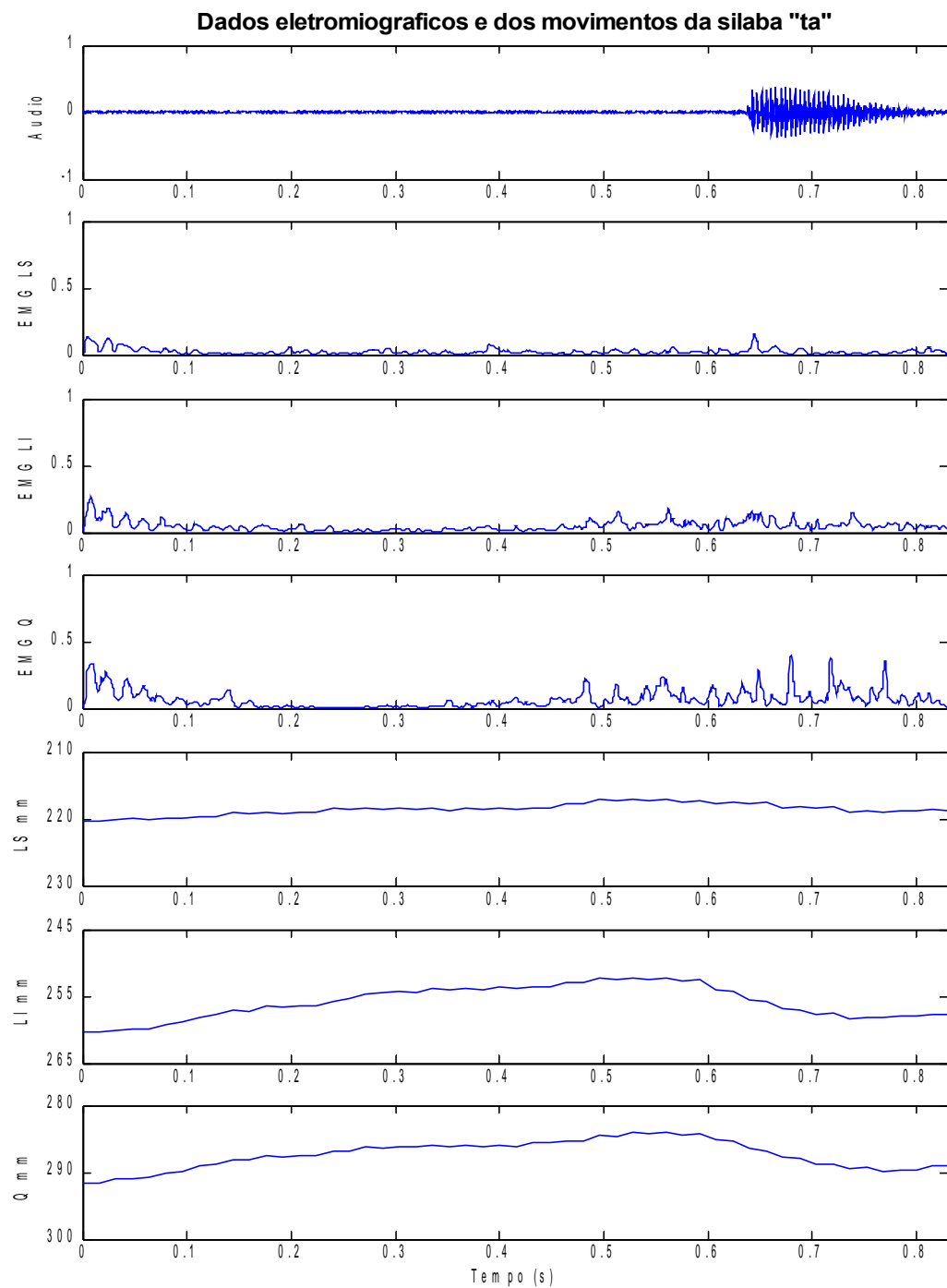


Figura 4.12 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ta/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

Em alguns casos não ficou claro a obtenção de correlações máximas com atrasos entre os sinais. É o que pode ser questionado no caso da emissão da palavra /chato/, em que correlações máximas foram obtidas quando os sinais encontravam-se atrasados entre si (Figura 4.13). Estes atrasos não podem ser elucidados a partir da análise das atividades eletromiográficas e das amplitudes dos movimentos faciais para essa palavra.

Correlação entre a Atividade Eletromiográfica e o Movimento Facial - palavra /chato/ -

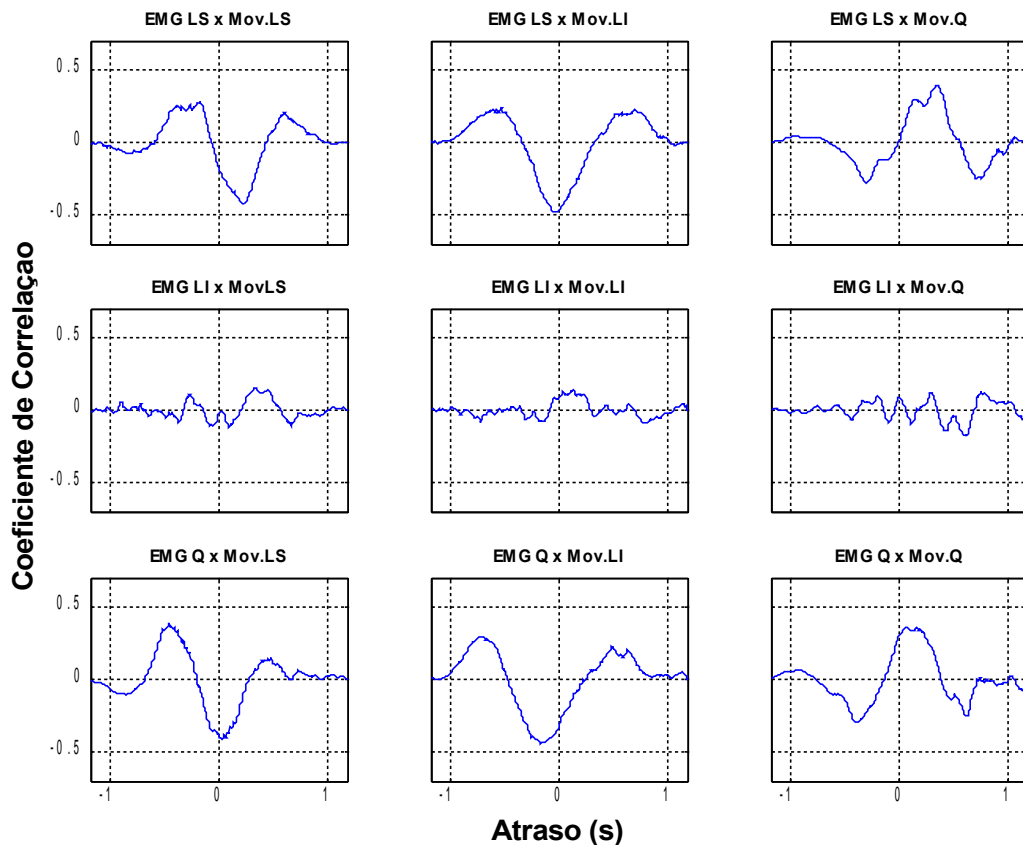


Figura 4.13 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial para a palavra /chato/. EMG: eletromiografia. MOV.: movimento. LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Eixo x: segundos. Eixo y: correlação.

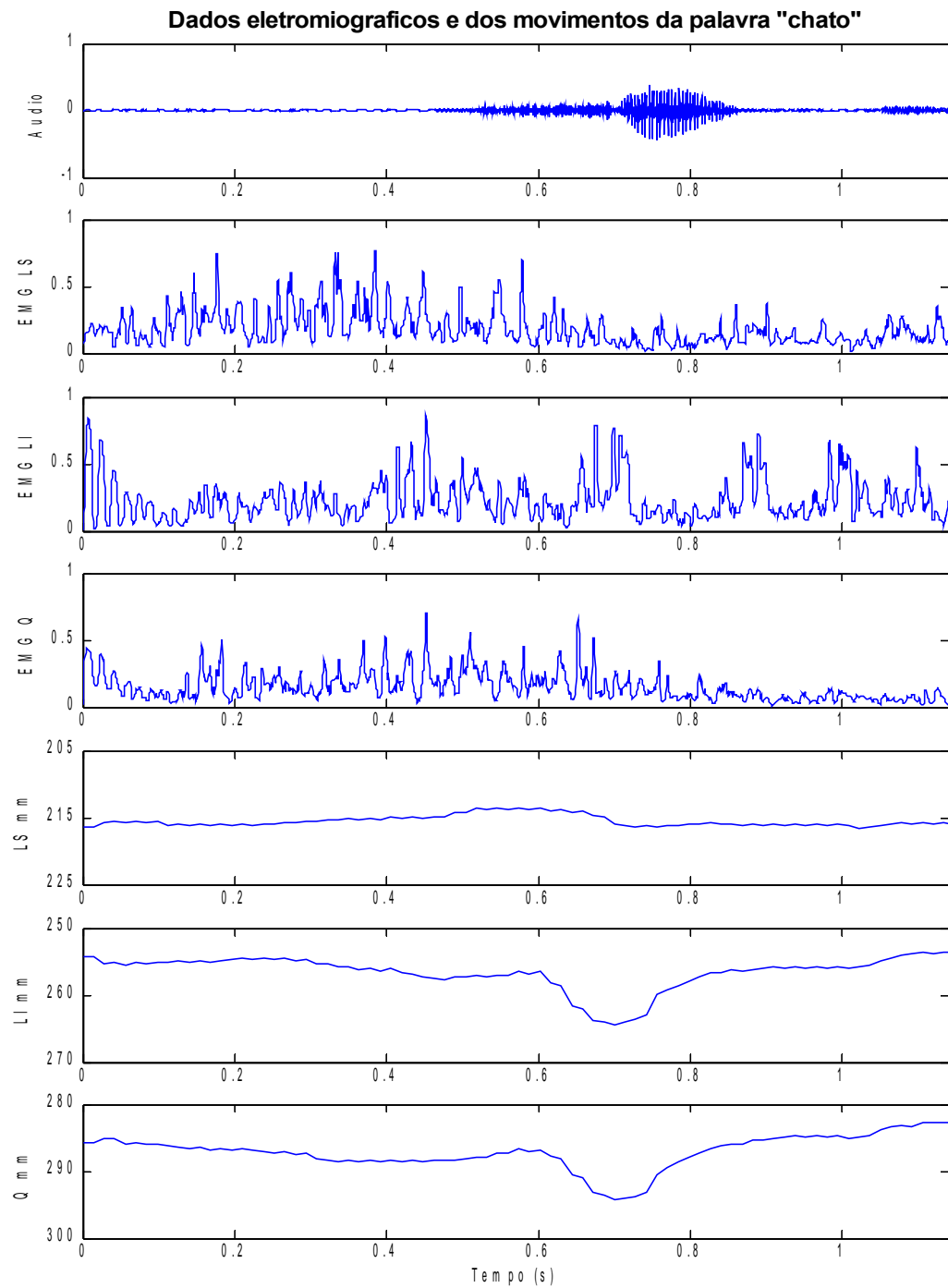


Figura 4.14 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /chato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

Capítulo 5 - Discussão dos resultados

5.1 Atividade Eletromiográfica

Conforme verificado na maior parte dos estudos abordados ao longo desta pesquisa, a análise do sinal eletromiográfico foi realizada por meio do valor eficaz do EMG (rms - valor quadrático médio) e a amplitude de contração (Tatham e colaboradores, 1972; Lehr e colaboradores, 1973; Regalo e colaboradores, 2005; Gomes e colaboradores, 2006; Oncins e colaboradores, 2006; Andrade e colaboradores, 2008; Nishihara e colaboradores, 2008). Dessa forma, a análise dos dados eletromiográficos no presente trabalho investigou a contração máxima e a média da contração (rms) dos músculos da região do lábio superior, lábio inferior e queixo.

Assim como Hirayama e colaboradores (1994), observou-se menor participação do lábio superior durante a fala, quando comparado com o lábio inferior e o queixo.

Os estudos de Tatham e colaboradores (1972), com relação à eletromiografia de fonemas bilabiais plosivos (/b/ e /p/) revelaram que não há nenhuma diferença no pico da amplitude do sinal eletromiográfico do lábio superior associada à contração dos lábios nos referidos fonemas. O autor também afirmou que a amplitude da atividade do sinal do EMG é maior no momento de liberação do ar no fonema /p/ que para o fonema /b/, além de observar que a duração da contração muscular antes da produção do fonema /p/ é maior quando comparada com o fonema /b/. No presente estudo, verificou-se que houve diferença entre os picos da amplitude do sinal do EMG do lábio superior, sendo que o pico da amplitude da atividade muscular para o fonema /p/ (0,74 mV) foi maior que para o fonema /b/ (0,39 mV), diferentemente do que foi observado por Tatham e colaboradores. Com relação à amplitude do sinal eletromiográfico no momento da liberação do ar observou-se diferença sutil entre os fonemas, havendo maior ativação para o fonema /p/ que para o fonema /b/. A duração da contração muscular antes da produção do fonema /p/ foi ligeiramente maior que a do fonema /b/.

Conforme observa-se na Tabela 4.1, verificou-se que, para a maior parte dos monossílabos, houve uma maior ativação eletromiográfica dos músculos localizados na região do queixo que para os da região do lábio superior e inferior, tanto no que se refere à atividade eletromiográfica média quanto à contração muscular máxima. O mesmo foi observado para as palavras em que o fonema pesquisado encontra-se no início da palavra (Tabela 4.2), e para as palavras nos quais o fonema pesquisado encontra-se na segunda sílaba da palavra (Tabela

4.3). Esses dados são compatíveis com os estudos de Lehr e colaboradores (1973).

Regalo e colaboradores (2005) realizaram análise eletromiográfica do músculo orbicular da boca superior e inferior em sujeitos normais e em portadores de deficiência auditiva, durante a produção da sílaba “pa” e outras atividades. Para os sujeitos normais, a atividade eletromiográfica do lábio inferior foi maior que a do lábio superior. Os mesmos resultados foram obtidos pela presente pesquisa.

Observou-se que, tanto para os monossílabos quanto para as palavras, houve maior ativação muscular da região do queixo. Acredita-se que isso possa ter ocorrido devido à presença do músculo depressor do lábio inferior na referida região. Tal músculo tem importante participação durante a fala, já que o mesmo é responsável pela abaixamento do lábio inferior.

Cabe ressaltar que, em vários momentos, o experimento teve que ser interrompido devido ao desprendimento dos eletrodos de superfície da face da participante, o que pode ter comprometido a fidedignidade dos sinais eletromiográficos registrados devido aos altos níveis de ruído. Cole e colaboradores (1983) citaram em seus estudos a importância da utilização de eletrodos de superfície específicos para a musculatura perioral, uma vez que os eletrodos tradicionais, segundo os mesmos, podem apresentar qualidade dos sinais eletromiográficos questionável, principalmente quando comparados aos eletrodos intramusculares. Huang e colaboradores (2004) também sugerem o uso de eletrodos específicos para a coleta de dados da região orofacial. Segundo Barros (2005) e Perry e colaboradores (1981), os eletrodos intramusculares são os mais adequados para a coleta de dados eletromiográficos. Renault (2001) preferiu utilizar eletrodos intramusculares para mensurar a atividade eletromiográfica de músculos da face, obtendo resultados mais precisos.

5.2 Movimento Facial

Estudos anteriores (Kuratate e colaboradores, 1998; Yehia e colaboradores, 1998; Vatikiotis-Bateson e colaboradores, 1996, 1998, 1999, 2001) mediram o movimento facial por meio de um equipamento de rastreamento de marcadores emissores de luz infravermelha denominado OPTOTRAK. Yehia e colaboradores (1998) verificaram forte correlação entre o movimento da face, o movimento do trato vocal e a acústica da fala. Já Vatikiotis-Bateson e colaboradores, (1996) e (1998), concluíram, ao rastrear os olhos de ouvintes, que as informações visuais da face podem influenciar a percepção da fala. Em 2000, os mesmos autores verificaram que o processo de produção acústica da fala gera, linguisticamente,

informação visual considerável, que é distribuída ao longo de grandes porções da face. Para confirmar as hipóteses levantadas em estudos anteriores, Vatikiotis-Bateson e colaboradores, (2001), gravaram o discurso de falantes do inglês, japonês e francês, utilizando a eletromiografia intramuscular, além do OPTOTRAK, verificando forte correlação entre a informação visual e a acústica da fala.

O OPTOTRAK, porém, tem seu uso restringido pelo seu alto custo. Uma alternativa para representar o movimento facial, conforme Barbosa e colaboradores 2004, é rastrear a posição de marcadores pintados. O rastreamento dos marcadores é realizado por meio de um algoritmo, que utiliza sequências de vídeos produzidas por filmagem durante a fala. Inclui-se, no algoritmo, um procedimento para a minimização do movimento da cabeça. Esta abordagem foi utilizada para a realização da presente pesquisa.

Barbosa (2004), realizou uma análise quantitativa da relação entre a acústica da fala e o movimento facial com o objetivo de obter mapeamentos entre estes dois domínios que possam ser empregados em um sistema de codificação audiovisual da fala. Para tanto, o autor construiu uma face sintética para o locutor e realizou a animação desta face através de parâmetros determinados a partir do sinal de voz. Como conclusão, percebeu-se a viabilidade de se sintetizar o movimento facial por meio da acústica da fala.

Similarmente ao observado por Hirayama e colaboradores (1994) em seus estudos, verificou-se, na grande maioria das casos, menor participação do lábio superior durante a fala, quando comparado com o lábio inferior e o queixo. A exceção ocorreu para os fonemas /x/ e /j/, nos quais há um arredondamento labial para a pronúncia dos mesmos.

McClellan e colaboradores, 2003, retrataram as variações que ocorrem no movimento e atividade eletromiográfica dos músculos orofaciais (masseter, depressor do lábio inferior, digástrico e mental) por meio de sensor eletromagnético e eletromiógrafo. Os autores verificaram como a atividade muscular orofacial está correlacionada com diferentes parâmetros do movimento (duração, distância e velocidade) de acordo com variações na velocidade e intensidade de fala. Para otimização dos dados, os pesquisadores incluíram um procedimento para a minimização dos movimentos da cabeça durante o experimento, o que também foi adotado neste estudo. Verificou-se correlação positiva entre a atividade eletromiográfica e os sensores posicionados nos músculos em questão. Comparando os resultados obtidos pelos autores com o presente estudo, observa-se compatibilidade dos dados no que se refere à correlação positiva entre a atividade muscular do músculo Mental e o

deslocamento dos marcadores posicionados nesta região. Além da correlação positiva, foram observados atrasos do movimento em relação aos sinais eletromiográficos em algumas elocuições, quando músculos foram tensionados de forma isométrica para manter os articuladores em posições fixas antes da produção de consoantes plosivas ou fricativas.

Capítulo 6 - Conclusão

Este estudo verificou a relação entre a atividade eletromiográfica de músculos da face, o movimento facial e a acústica da fala produzida simultaneamente. Para tanto realizou-se eletromiografia de superfície dos músculos da região perioral, posicionando-se os eletrodos na região do lábio superior, lábio inferior e queixo. Para a mensuração dos movimentos faciais, utilizou-se marcadores faciais, rastreando-se, posteriormente, a posição dos mesmos a partir de imagens de vídeo. A atividade muscular e o movimento facial foram mensurados simultaneamente. Para a visualização do comportamento muscular e movimento da face ao longo das elocuições, realizou-se uma sincronização do sinal acústico com os dados eletromiográficos e com a componente vertical do movimento da face.

Os resultados da correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial forneceram valores relevantes para 33 das 36 relações analisadas. Os valores dos maiores coeficientes de correlação ficaram em torno de 0,7, o que pode ser considerado elevado. Isto indica uma característica predominantemente elástica para a dinâmica que governa a relação entre força muscular (medida pela atividade eletromiográfica) e o movimento facial.

Além disso, foram observados atrasos de até 0,34 segundos do movimento com relação ao sinal de EMG. Tais atrasos ocorreram em situações de força isométrica, nas quais músculos são tensionados para manter articuladores em posições fixas antes de relaxar para a produção de vogais que sucedem consoantes plosivas ou fricativas.

Em síntese, os experimentos realizados demonstraram ser possível a utilização de medidas de atividade eletromiográfica para a determinação dos períodos de aplicação de força muscular durante o processo de produção da fala, ainda que não tenha sido possível a determinação da intensidade da força.

Sugere-se, em estudos futuros, a inclusão da repetibilidade dos dados, a obtenção de dados com um número maior de participantes e a utilização de eletrodos confeccionados exclusivamente para o uso facial, visando à otimização dos resultados. Outra opção ainda melhor para o uso de eletrodos, porém invasiva, seria a utilização de eletrodos intramusculares, devido a sua capacidade de captar sinais de fibras musculares específicas e de não estarem sujeitos à filtragem de altas frequências causada pelos tecidos existentes entre as fibras musculares e os eletrodos.

Referências Bibliográficas

Andrade CRF, Sassi FC, Juste FS, Meira MIM. *Atividades de fala e não-fala em gagueira: estudo preliminar*. Pró-Fono Revista de Atualização Científica. 2008 Jan-Mar; 20(1):67-70.

Barbosa, AV. *Codificação audiovisual integrada da fala*. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Novembro 2004.

Barbosa, AV ; Yehia, HC; Vatikiotis-Bateson, E. MATLAB Toolbox for Audiovisual Speech Processing. In: Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing (AVSP 2007). Tilburg, Holanda : Tilburg University, 2007. v. 1.

Barros. KR. *Metodologia para Classificação de Sinais EMG para Controle de Próteses com Baixo Esforço Computacional*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Agosto 2005.

Cole, KJ; Konopacki, RA; Abbs, JH. *A miniature electrode for surface electromyography during speech*. J. Acoust. Soc. Am. 1983;74(5):1362-66.

Ferreira, LM; MINAMI, E; Pereira, MD, Chohfi, LMB; Andrews, JM. *Estudo anatômico do músculo levantador do lábio superior*. Rev Ass Med Brasil 1997;43(3):185-8.

Ferreira, LP; Befi-Lopes, DM; Limongi, SCO. *Tratado de Fonoaudiologia*. São Paulo: Roca; 2005.

Fogle, LL; Glaros, AG. *Contributions of Facial Morphology, Age, and Gender to EMG Activity Under Biting and Resting Conditions: A Canonical Correlation Analysis*. J Dent Res 1995;74(8):1496-1500.

Gomes, CF; Trezza, EMC; Murade, ECM; Padovani, CR. *Surface electromyography of facial muscles during natural and artificial feeding of infants*. J Pediatr. 2006;82:103-9.

Goulart, F; Vasconcelos, KSS; Souza, MRV; Pontes, PB. *Physical therapy for facial paralysis using the biofeedback*. Acta Fisiátrica 2002; 9(3):134-140.

Hirayama, U, Vatikiotis-Bateson, E., Gracco, V., & Kawato, U (1994). *Neural network prediction of lip shape in muscle EMG in Japanese speech*. In Proc. ICSLP-94, 587-590.

Huang, CN; Chen, CH; Chung, HY. *The Review of Applications and Measurements in Facial Electromyography*. Journal of Medical and Biological Engineering 2004; 25(1): 15-20

International Phonetic Association (1999). *Handbook of the International Phonetic Association: A guide to the use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-65236-7 (hb); ISBN 0-521-63751-1 (pb).

Kuratate, T; Munhall, KG; Rubin, PE; Vatikiotis-Bateson, E; Yehia, HC. Audio-visual Synthesis of Talking Faces from Speech Production Correlates. EuroSpeech'99 - Paper K013.

Lehr, RP; Blanton, PL; Biggs, NL; Sewell, DA. *Electromyographic Analysis of the Circumoral Muscles of Facial Expression*. J Dent Res 1973; 53(3):661-69.

McClellan MD. *Association of Orofacial Muscle Activity and Movement During Changes in Speech Rate and Intensity*. Journal of Speech and Hearing Research. 2003; 46(2):1387-1400.

Murano, EZ, Stone, M. *Speech Patterns in a Muscular Hydrostat: Lip, Tongue and Glossectomy Movement*. Proceedings of the Third B-J-K Symposium on Biomechanics, Healthcare and Information Science. p. 137-154 , Março 16-17, 2007, Kanazawa, Japão.

Nishihara, K; Kawai, H; Gomi, T; Terajima, M; Chiba, Y. *Investigation of Optimum Electrode Locations by Using an Automatized Surface Electromyography Analysis Technique*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2008;55(2):636-42.

Oncins, MC; Freire, RMAC; Marchesan, IQ. *Mastigação: análise pela eletromiografia e eletrognatografia. Seu uso na clínica fonoaudiológica*. Distúrbios da Comunicação, São Paulo, 2006; 18(2): 155-165.

Perry, J; Easterday, CS; Antonelli, DJ. *Surface Versus Intramuscular Electrodes for Electromyography of Superficial and Deep Muscles*. Physical Therapy 1981;61(1):7-15.

Regalo, SCH; Vitti, M; Moraes, MTB; Semprini, M; Felício, CM, e colaboradores. Electromyographic analysis of the orbicularis oris muscle in oralized deaf individuals. Braz. Dent. J. 2005;16(3).

Renault, F. *Facial electromyography in newborn and young infants with congenital facial weakness*. Developmental Medicine & Child Neurology 2001, 43: 421–427.

Tatham, M; Morton, K. Electromyographic and Intraoral Air Pressure Studies of Bilabial Stops. Occasional Papers 1; 1972; 1-24, U. of Essex, Language Centre.

Vatikiotis-Bateson, E; Munhall, KG; Kasahara, Y; Garcia, F; Yehia, HC.(1996b) *Characterizing audiovisual information during speech*. In Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing – ICSLP'96, 1485-88, Philadelphia, Penn, EUA.

Vatikiotis-Bateson, E; Yehia, HC (1996a). *Phylogical modeling of facial motion during speech*. *The Acoustic Society of Japan – Transactions of the Technical Committee on Psychological and Physiological Acoustics*, 1996;H-96(65):1-8.

Vatikiotis-Bateson, E; Eigsti, IM; Yano, S; Munhall, KG. *Eye movement of perceivers during audiovisual speech perception*. Perception & Psychophysics 1998, 60(6): 926-940.

Vatikiotis-Bateson, E (1999). *Audio-visual speech production: Some issues for recognition*. In 1999 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan 1999;11:81-84.

Vatikiotis-Bateson, E; Kuratate, T; Munhall, KG; Yehia, HC.(2001). *The Production and Perception of a Realistic Talking Face*. In: Osamu Fijimura; Brian D. Joseph, Bohumil Palek. (org). Proceedings of LP'98 (linguistics and Phonetics 4). 1 ed. Praga: The Karolinum Press, 2000, v. 1, 439-460.

Wohlert, AB; Smith, A. *Developmental Change in Variability of Lip Muscle Activity During Speech*. Journal of Speech, Language and Hearing Research. 2002; 45, 1077-87.

Yehia, HC; Rubin, P; Vatikiotis-Bateson, E. *Quantitative association of vocal-tract and facial behavior*. Speech Communication 1998; 26:23-43.

Zemlin, WR. *Princípios de Anatomia e Fisiologia em Fonoaudiologia*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul; 2000.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Figuras dos dados eletromiográficos e do movimento facial (monossílabos)

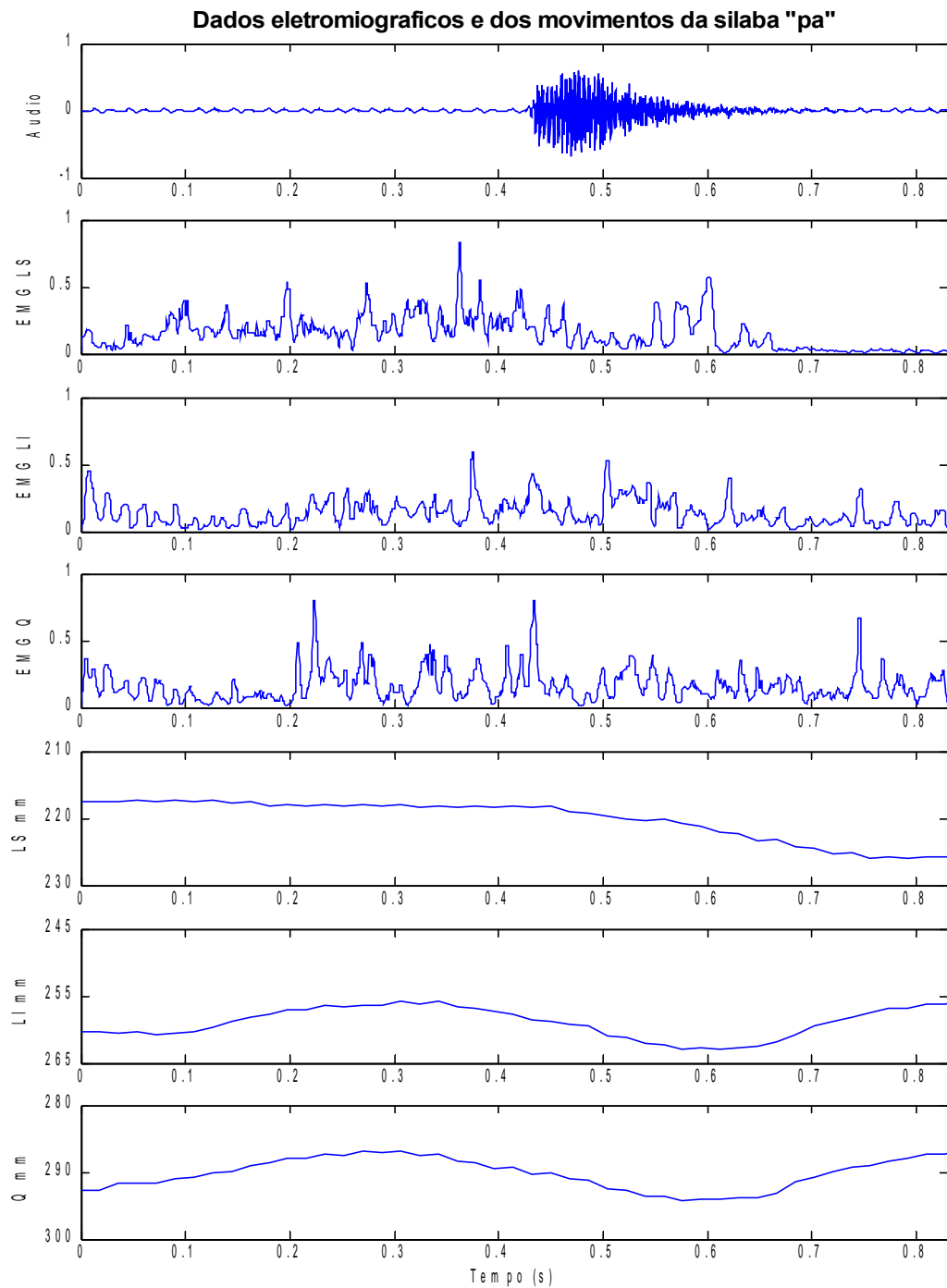


Figura A.1 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /pa/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

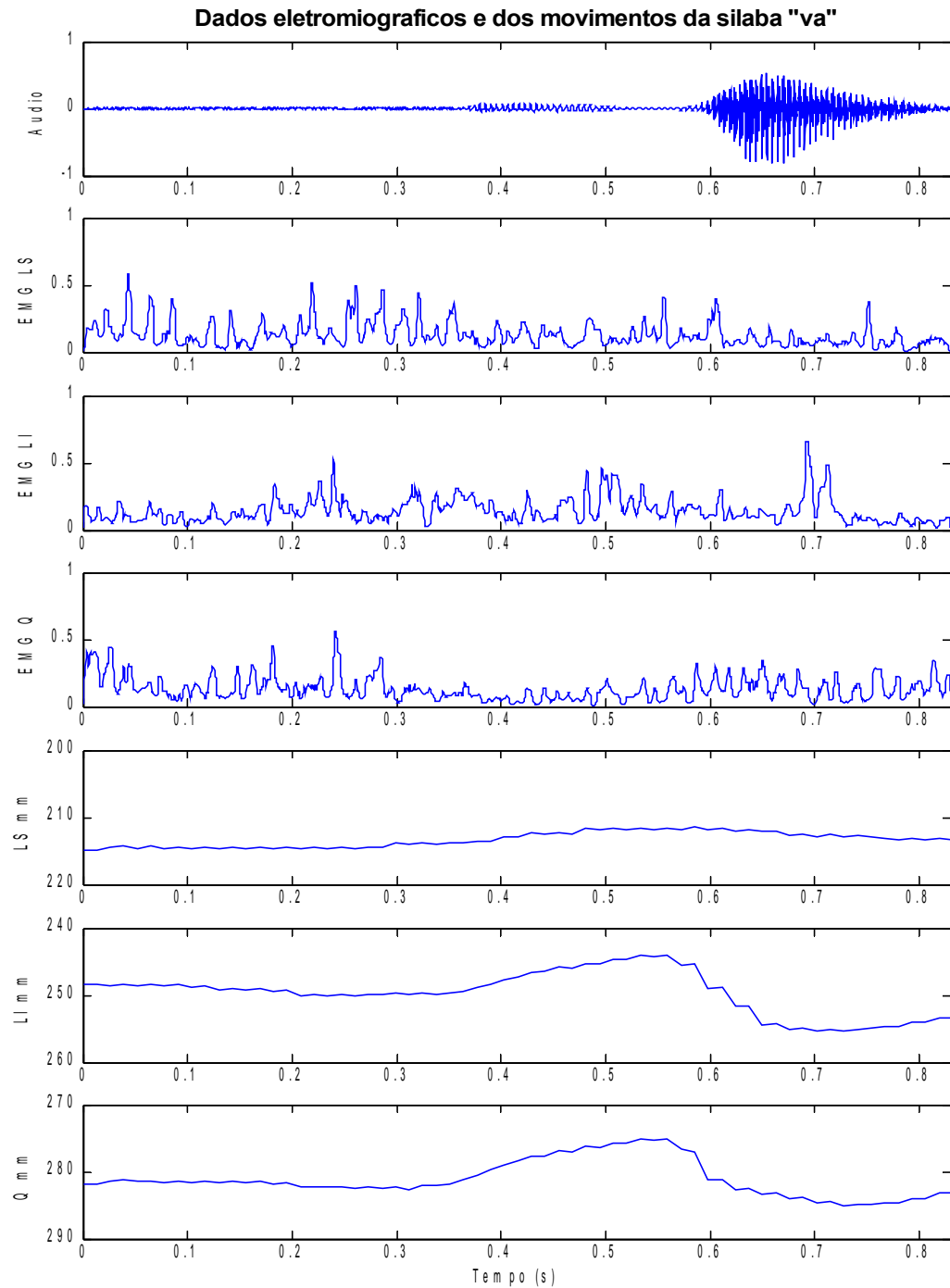


Figura A.2 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /va/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

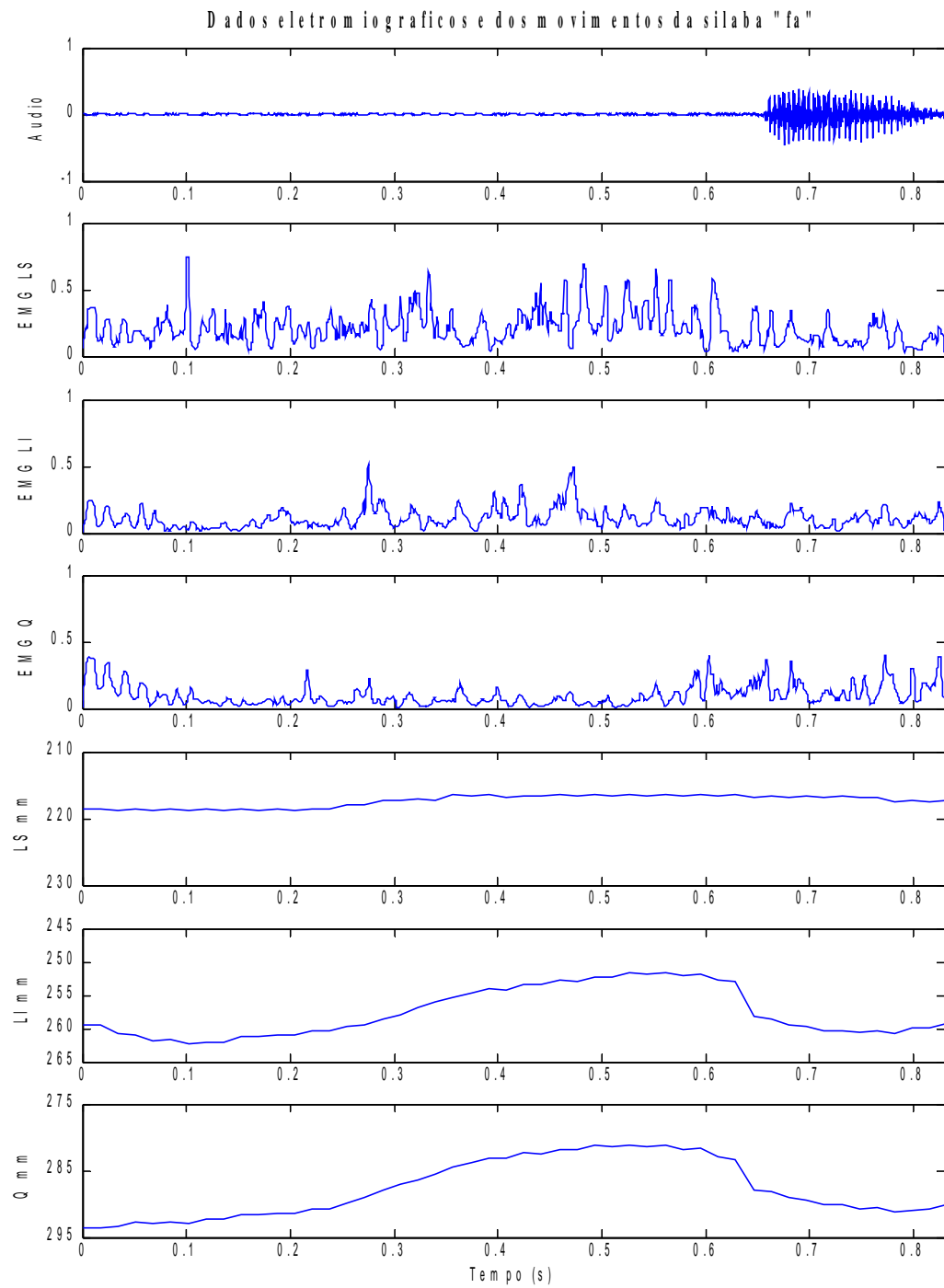


Figura A.3 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /fa/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

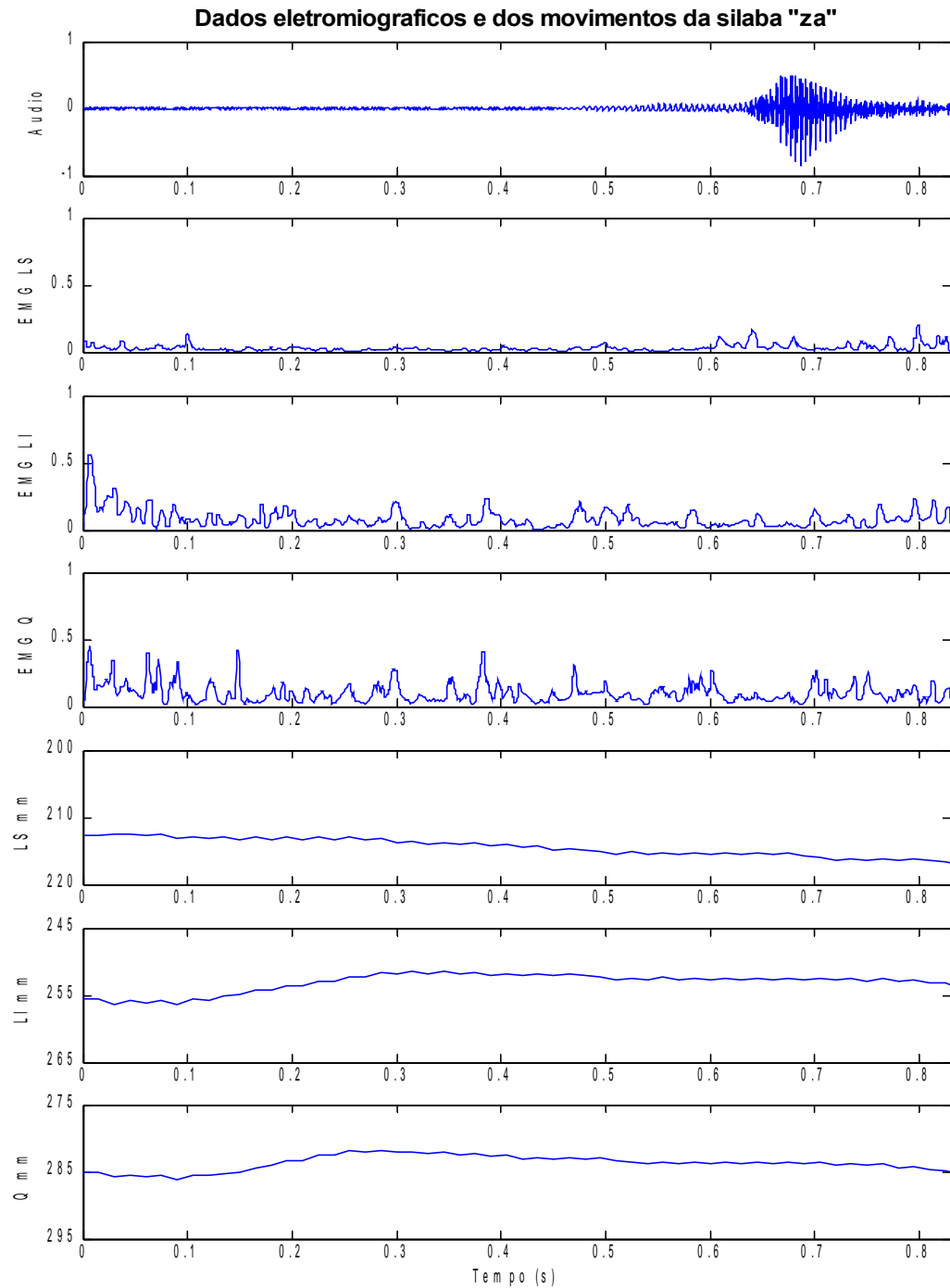


Figura A.4 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /za/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

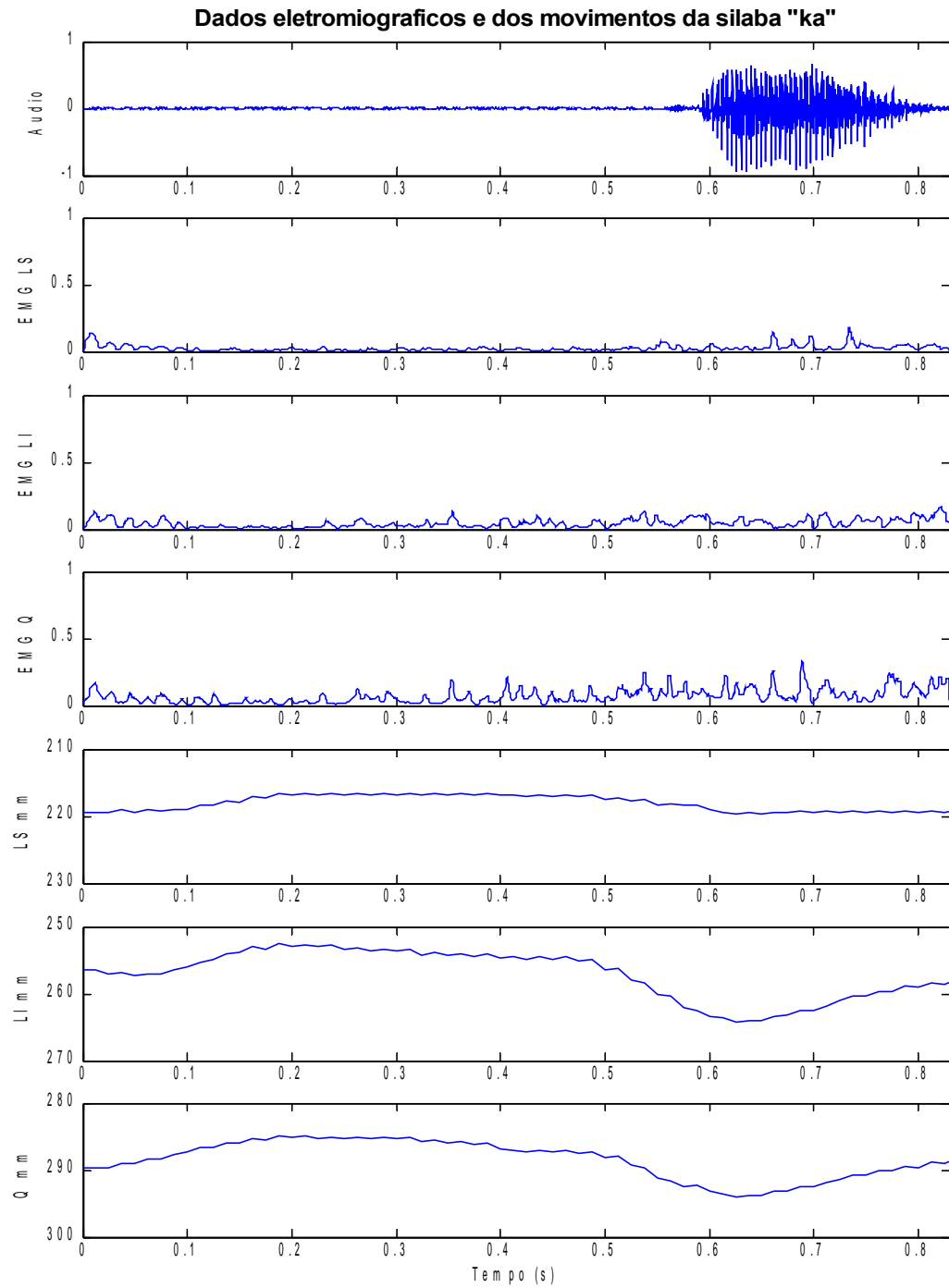


Figura A.5 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ka/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

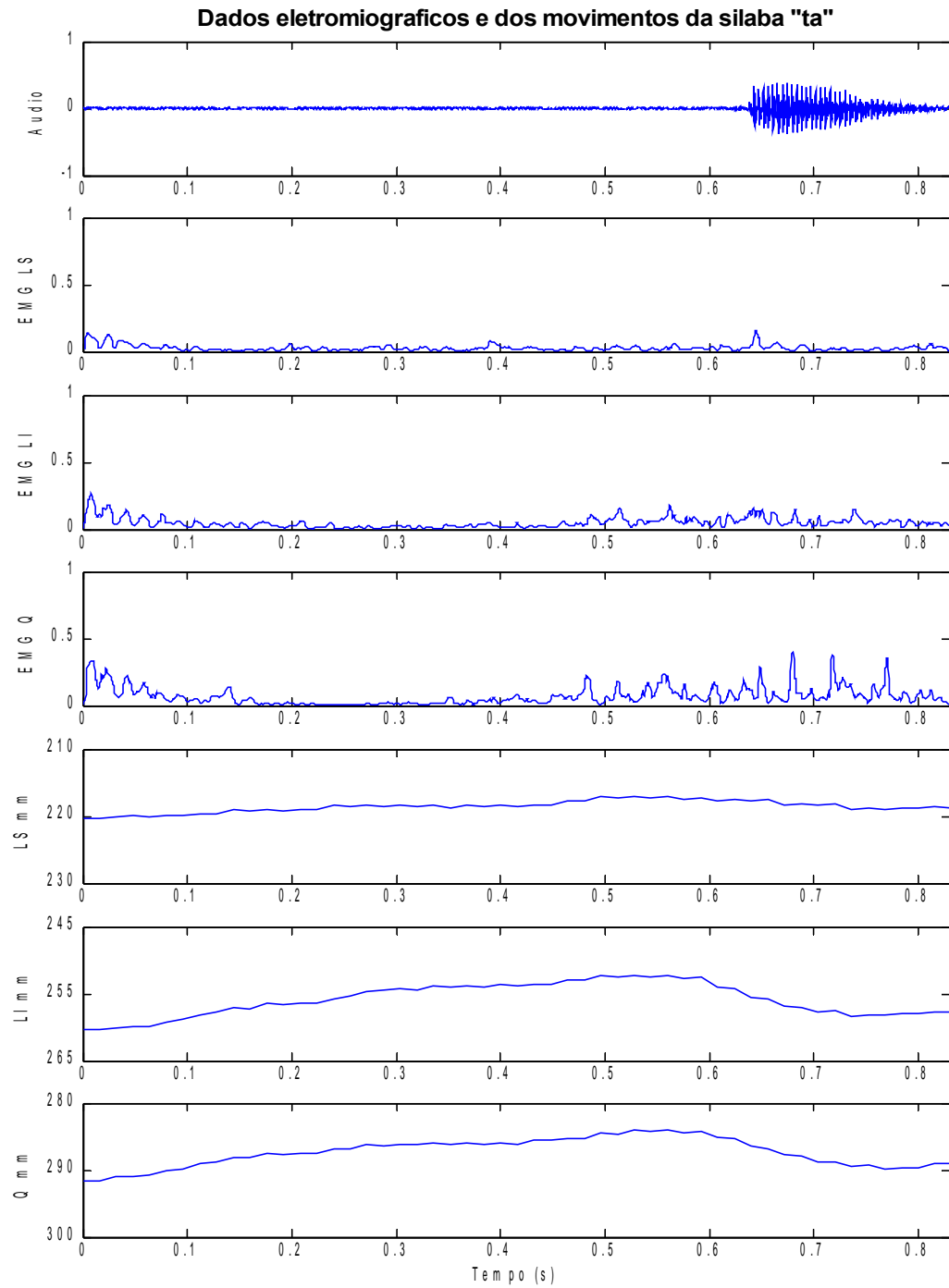


Figura A.6 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ka/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

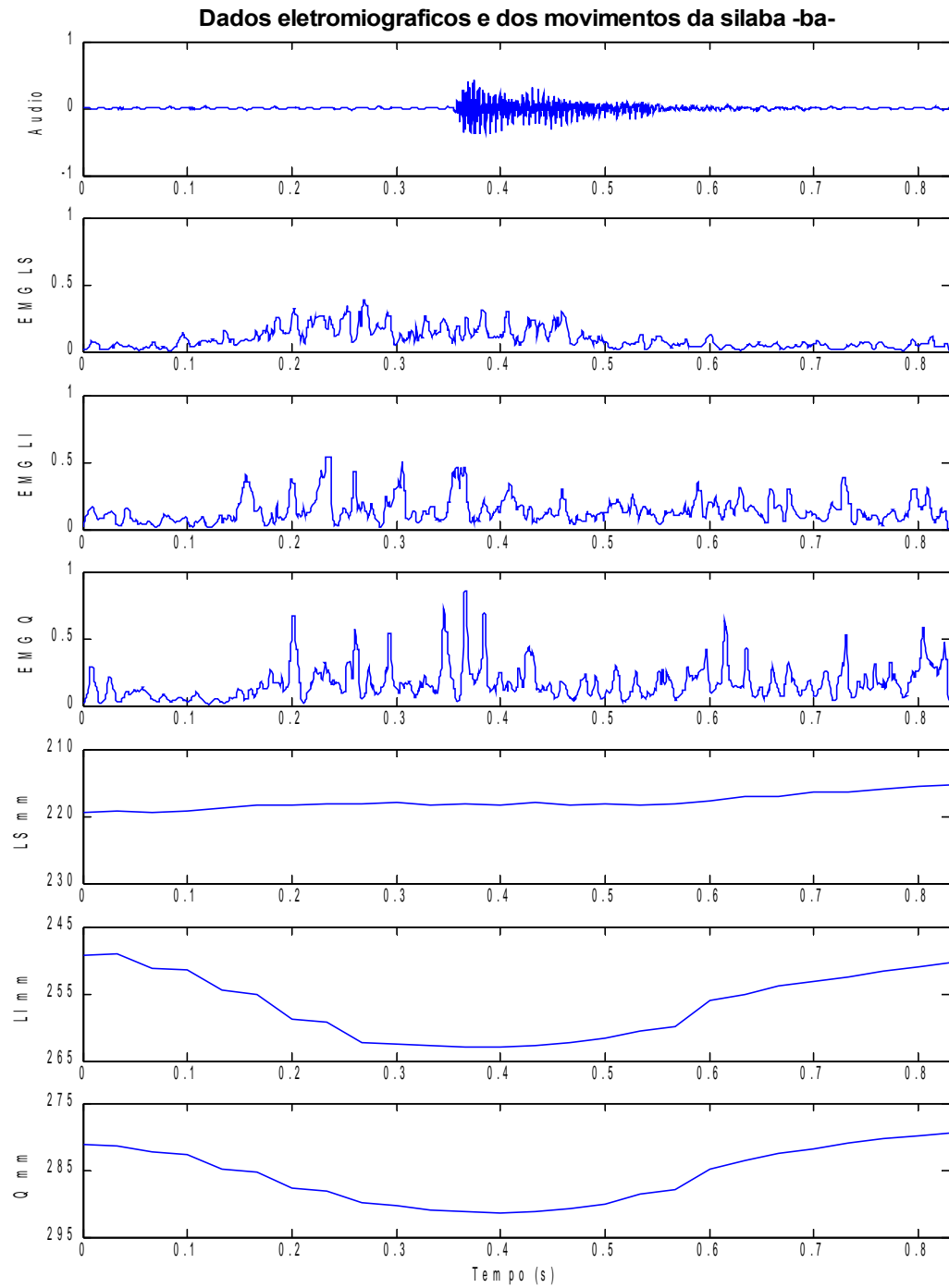


Figura A.7 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ba/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

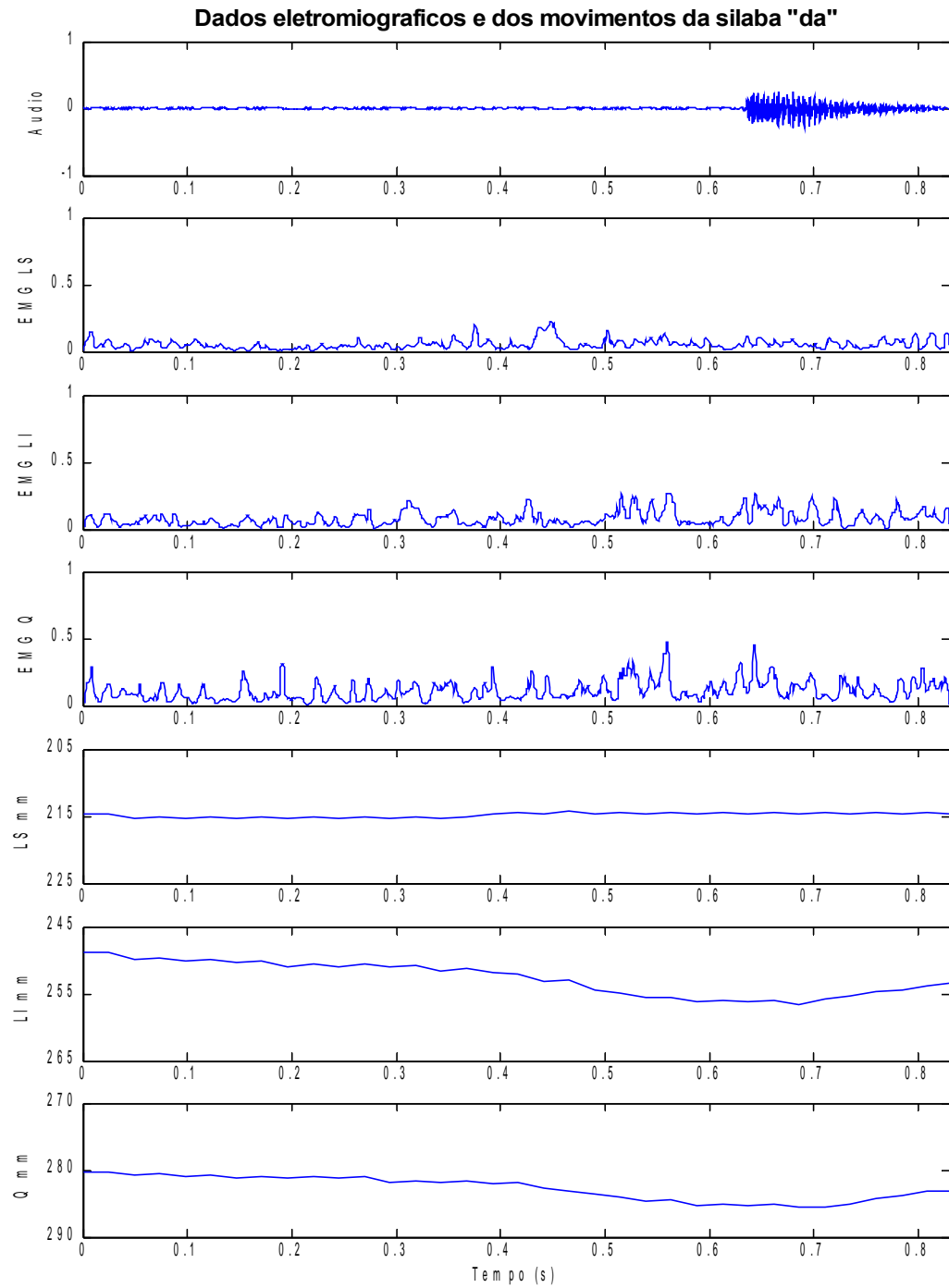


Figura A.8 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /da/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

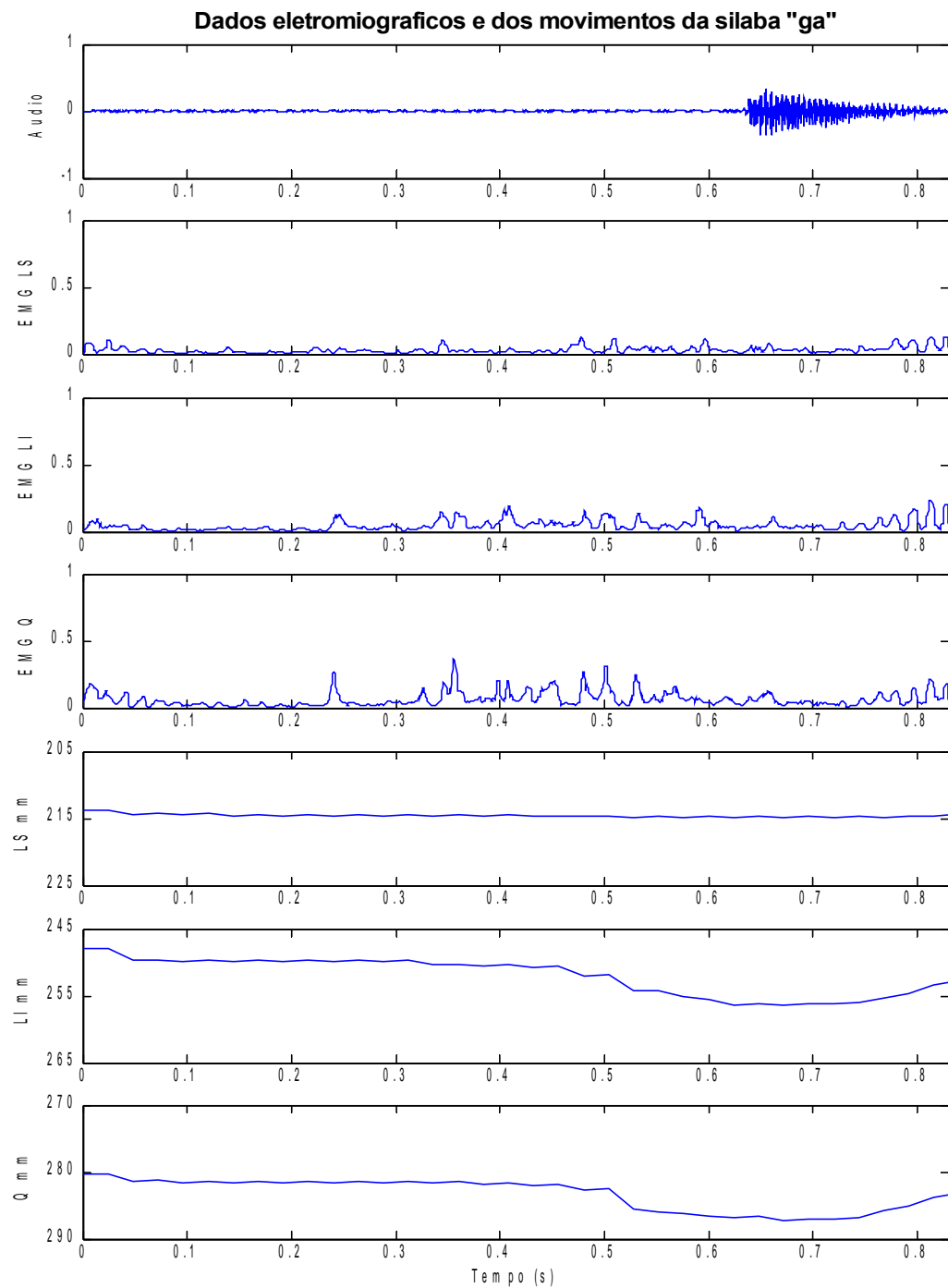


Figura A.9 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ga/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

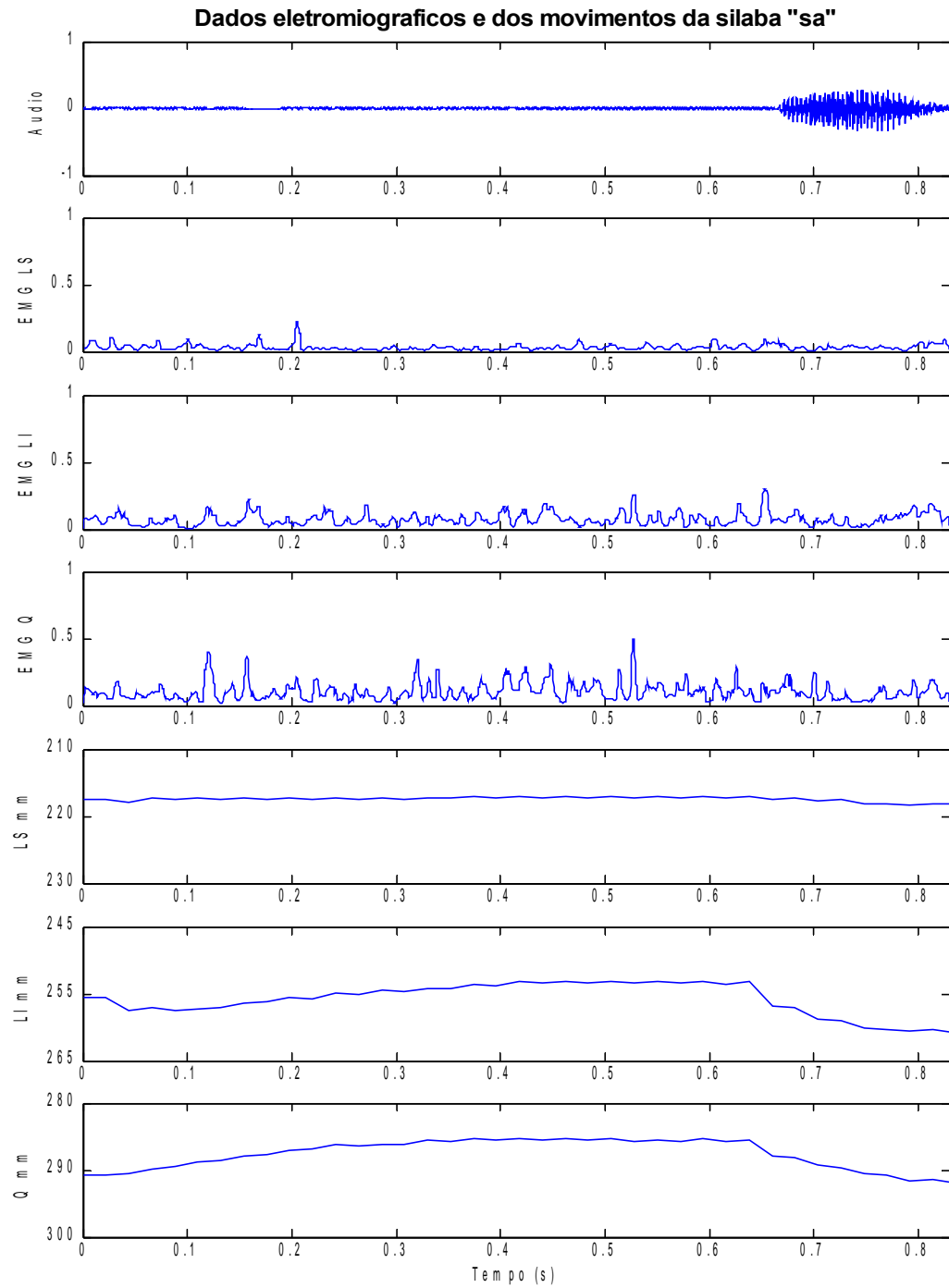


Figura A.10 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /sa/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

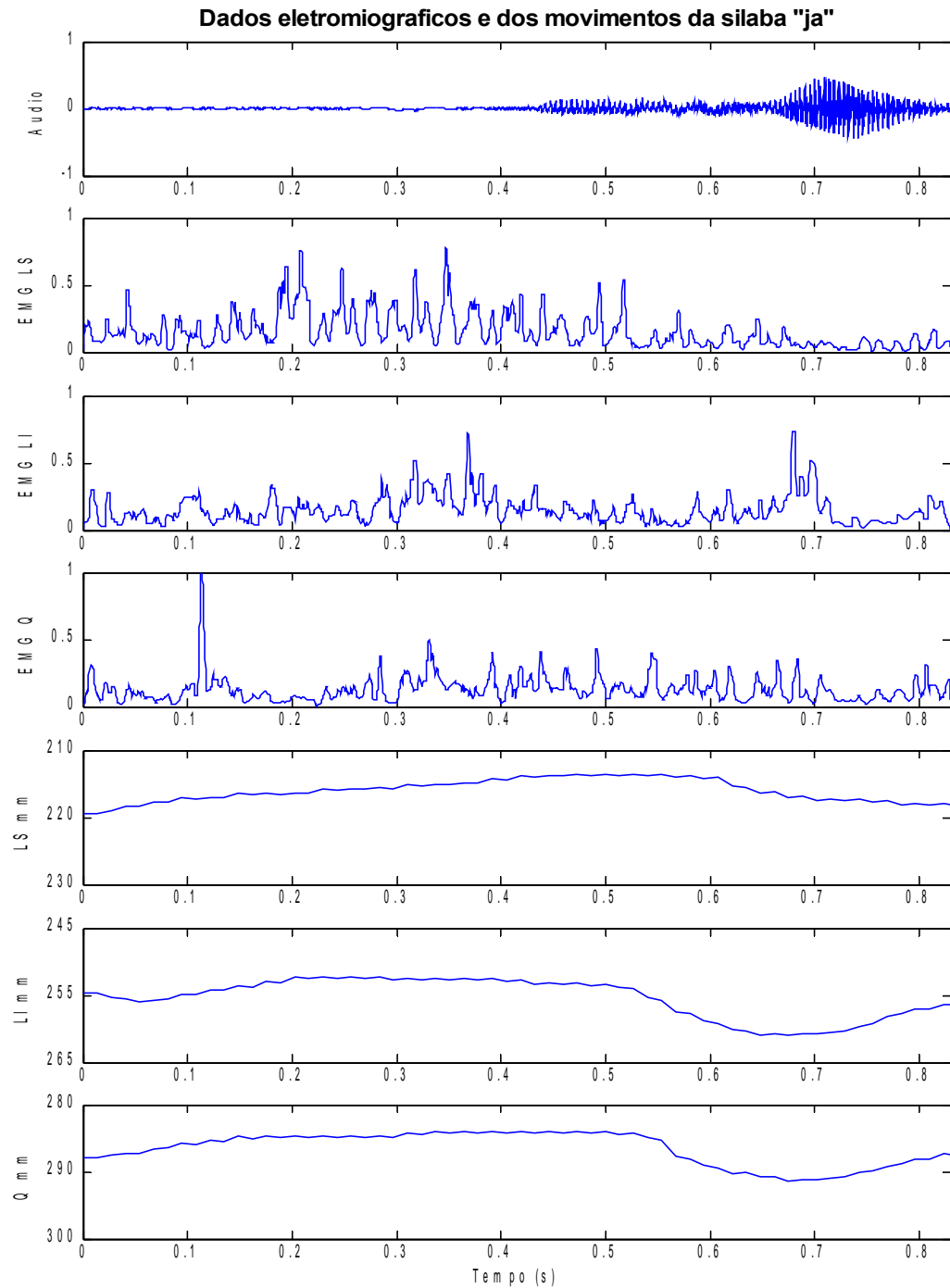


Figura A.11 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /ja/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

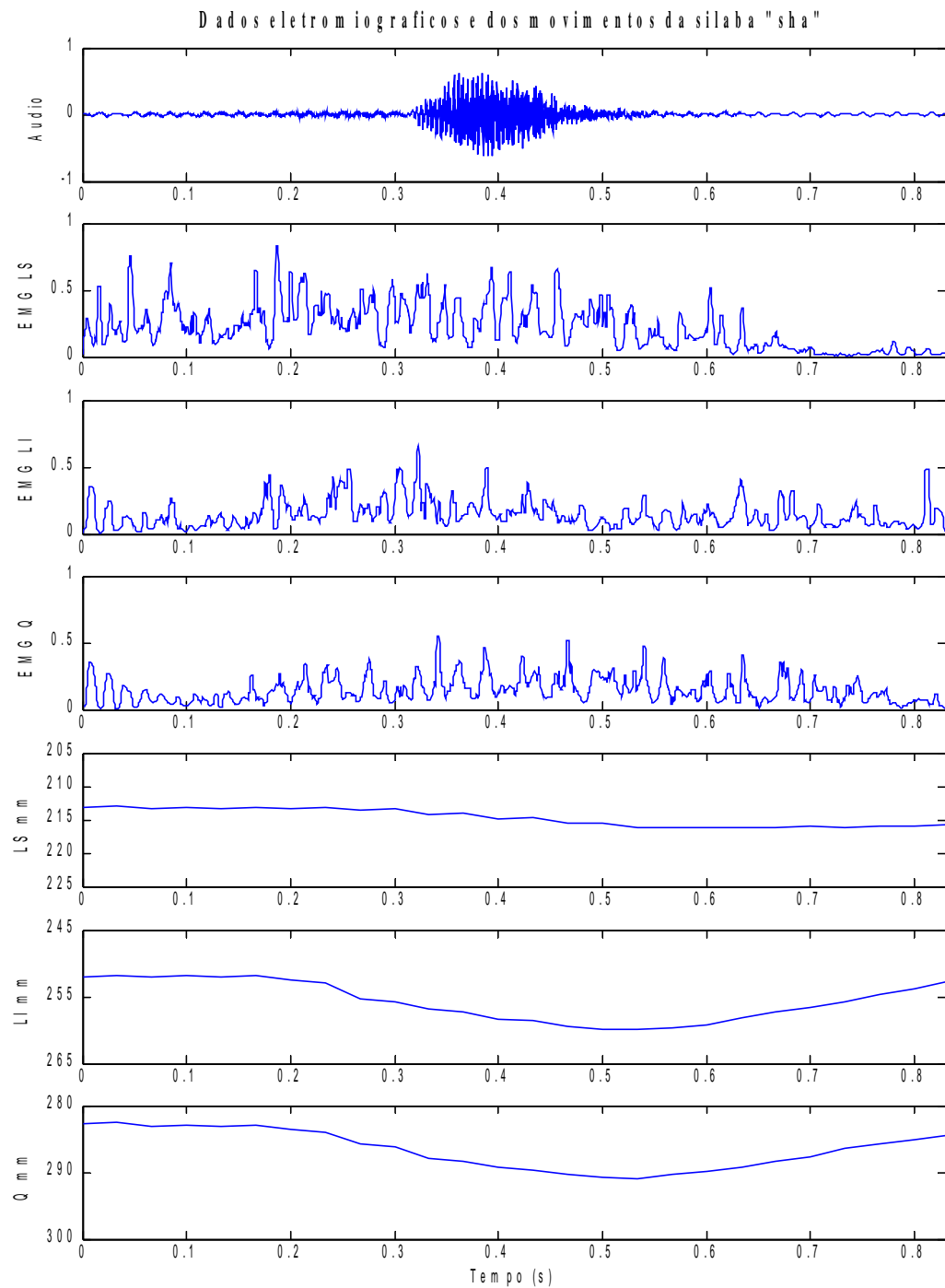


Figura A.12 Dados eletromiográficos e do movimento facial para o monossílabo /sha/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

APÊNDICE B – Figuras dos dados eletromiográficos e do movimento facial (palavras)

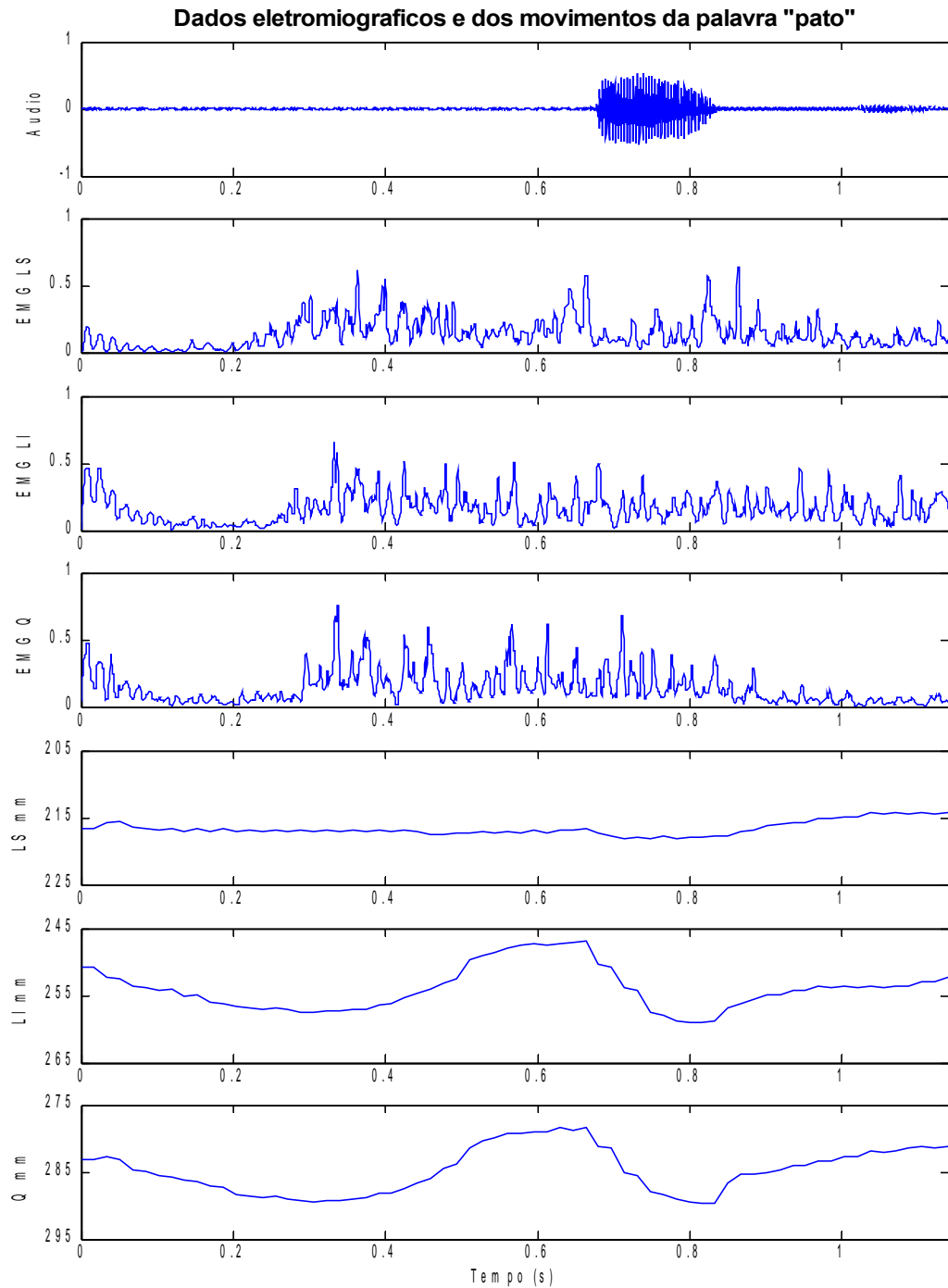


Figura B.1 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /pato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

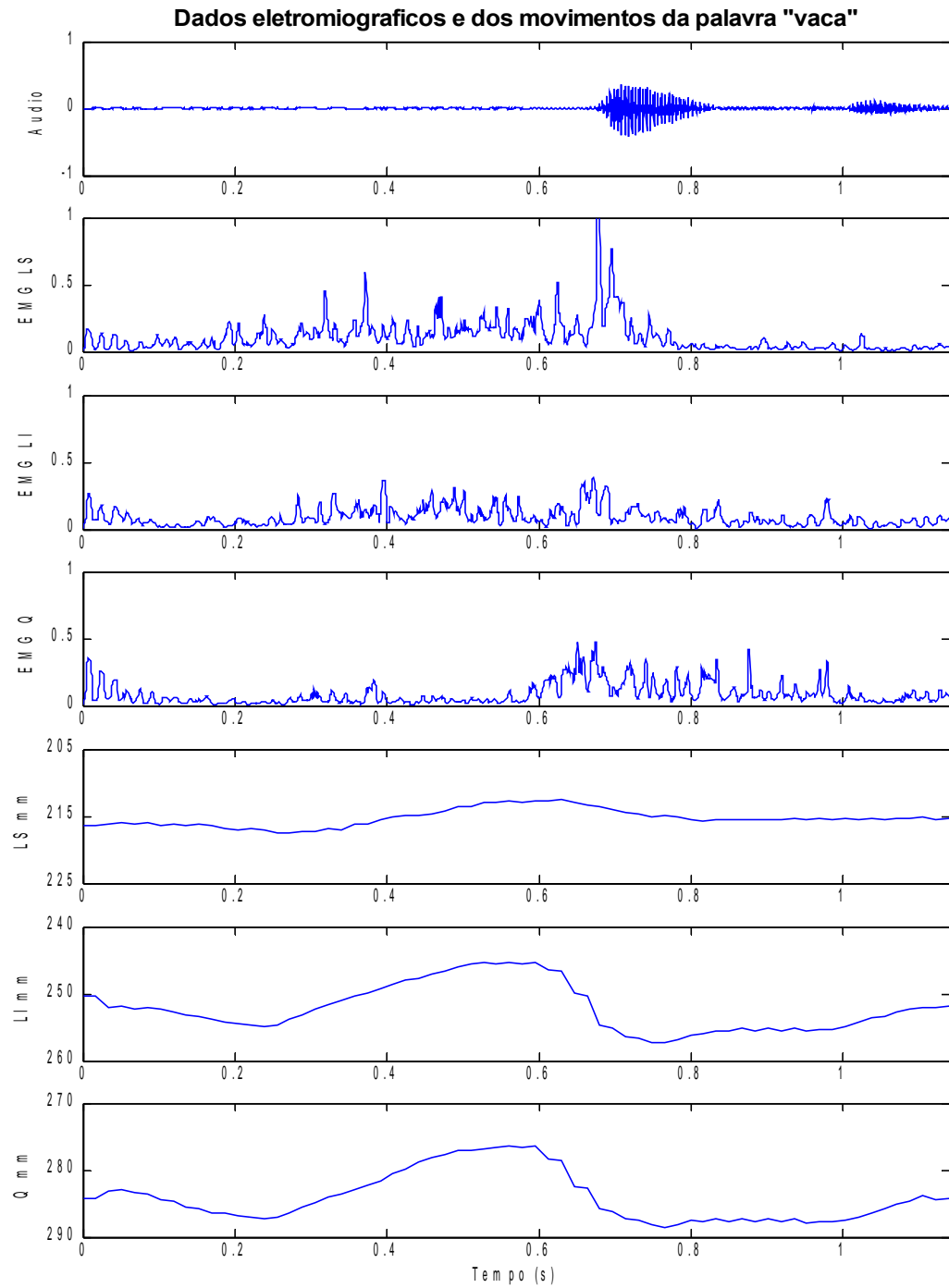


Figura B.2 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /vaca/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

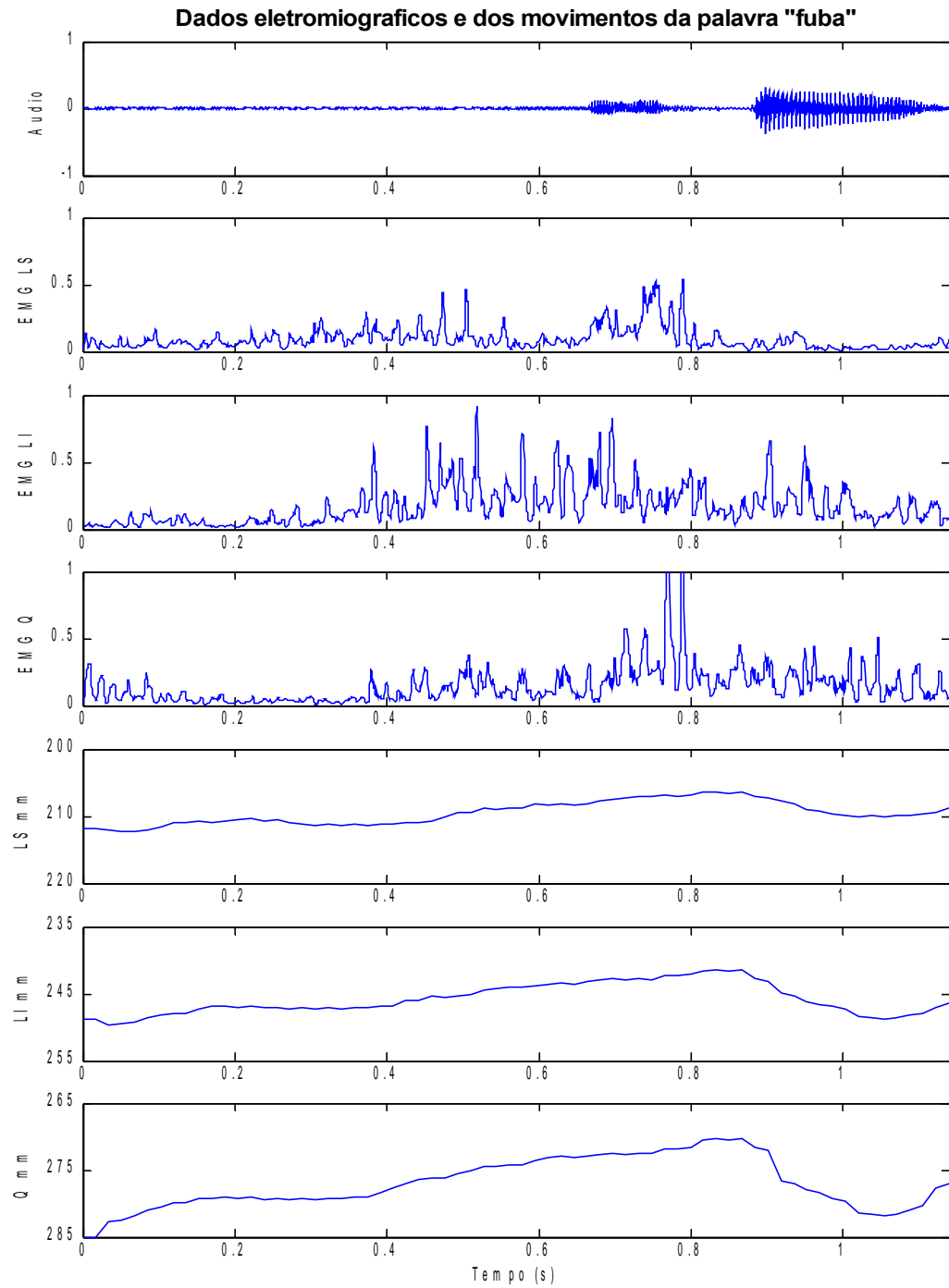


Figura B.3 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /fuba/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

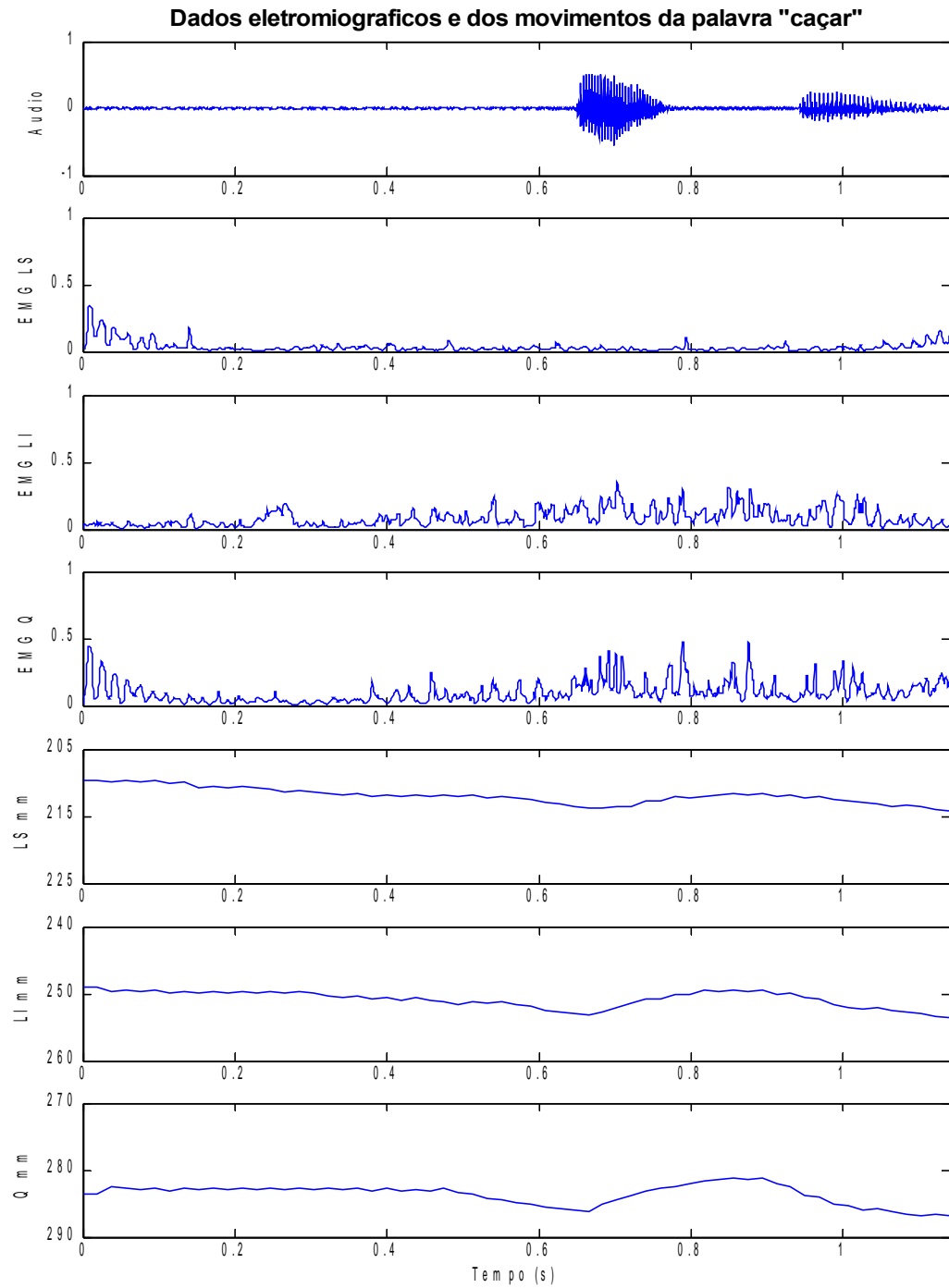


Figura B.4 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /caçar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

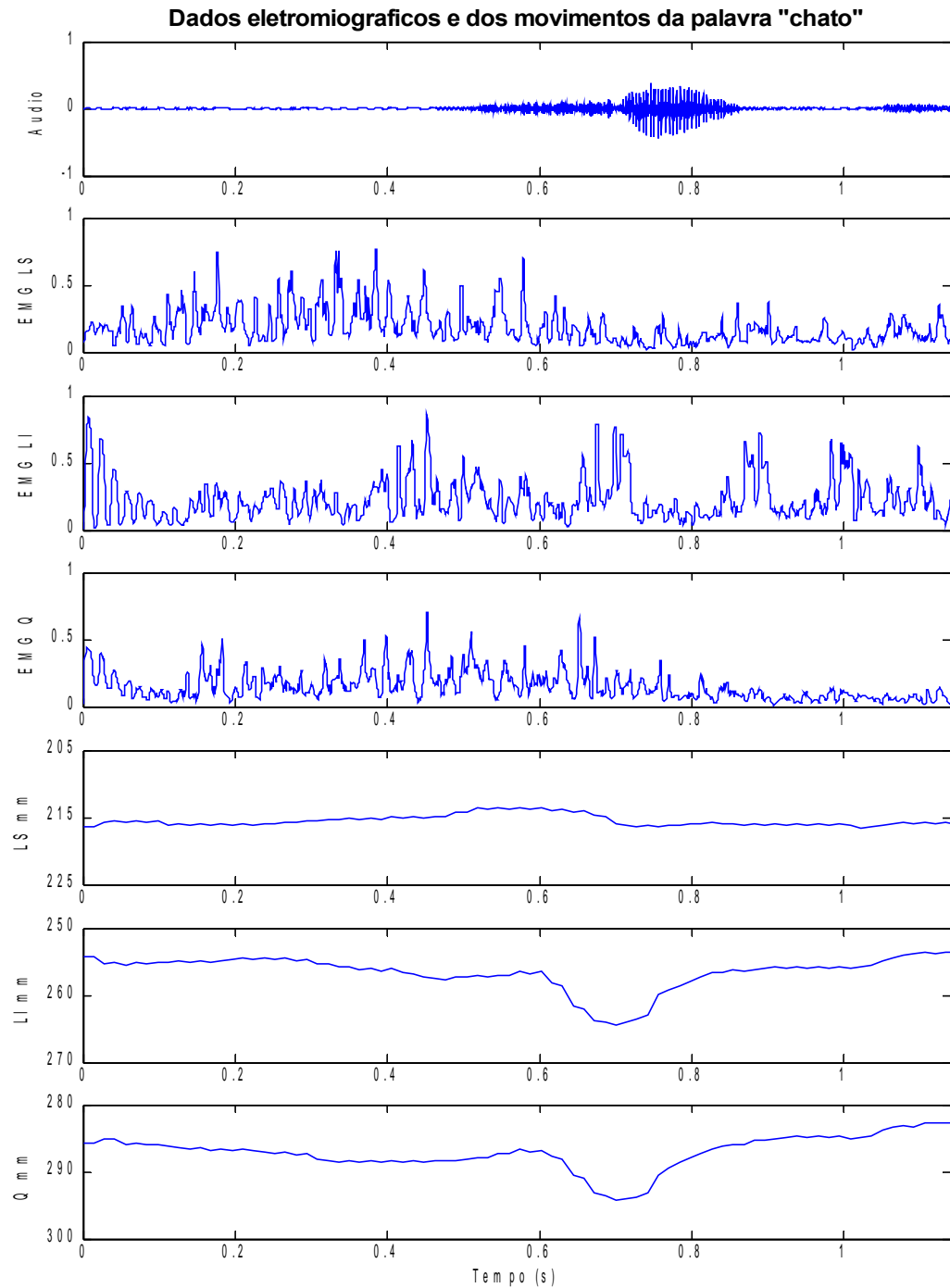


Figura B.5 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /chato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

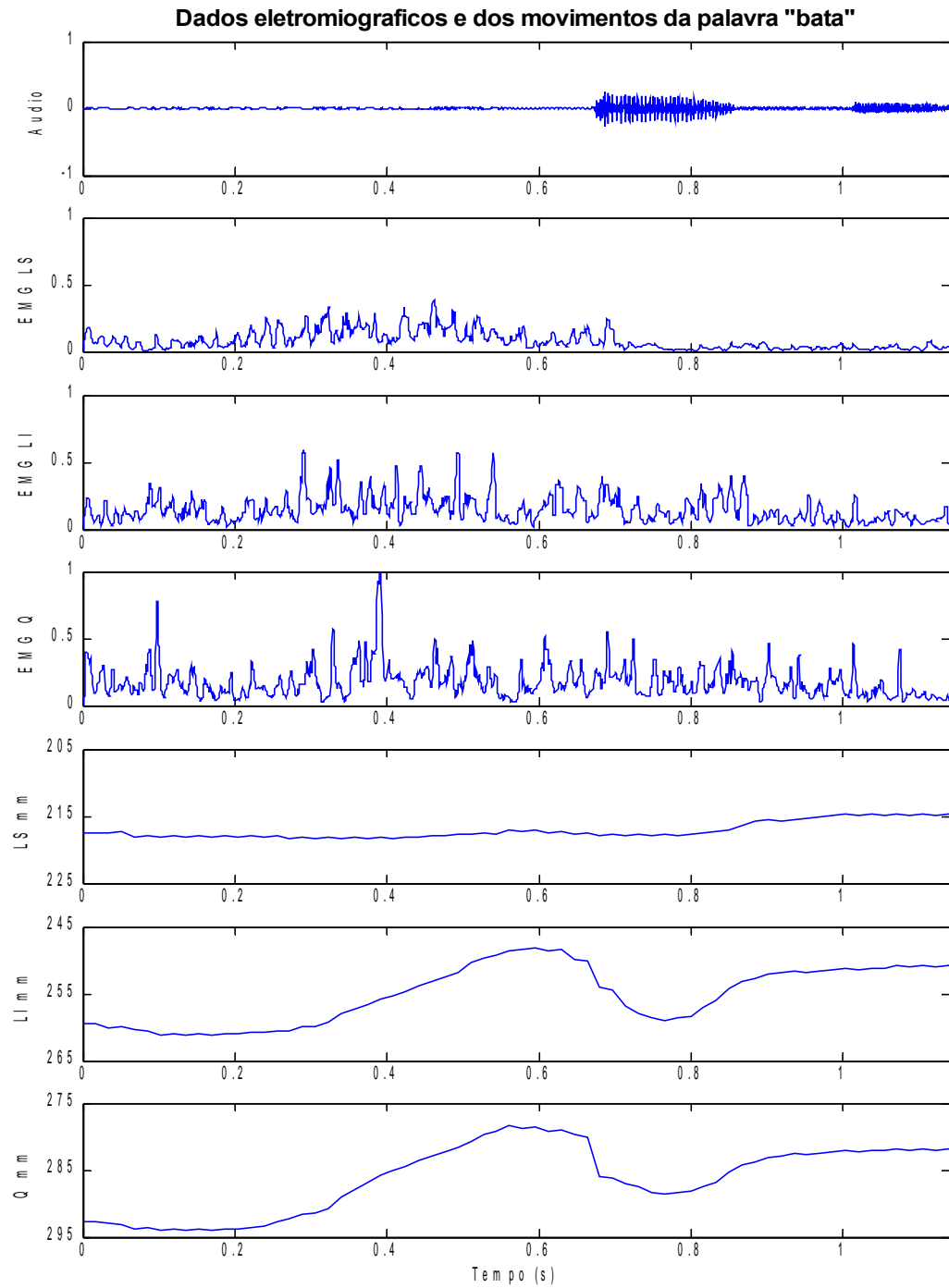


Figura B.6 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /bata/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

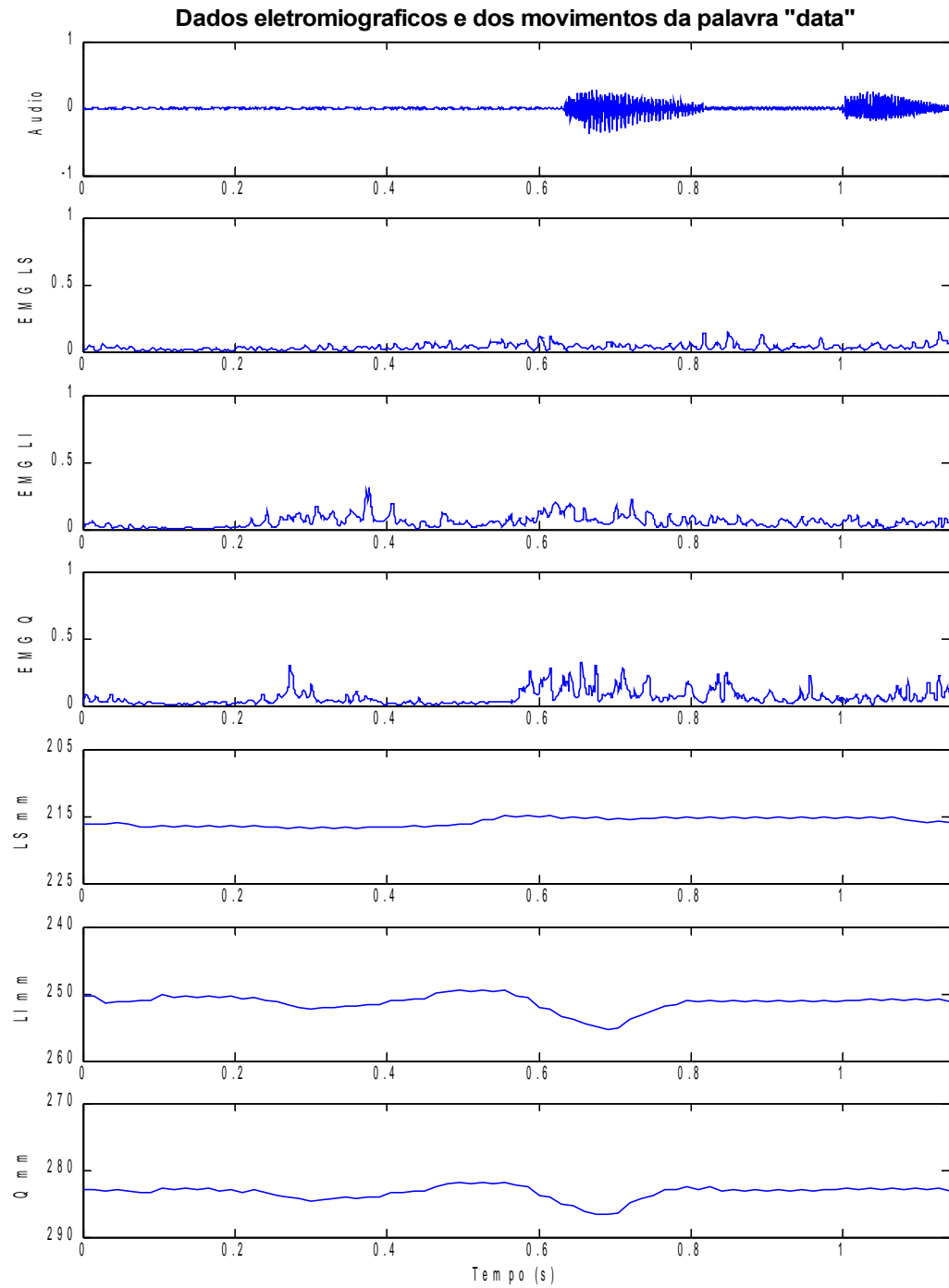


Figura B.7 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /data/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

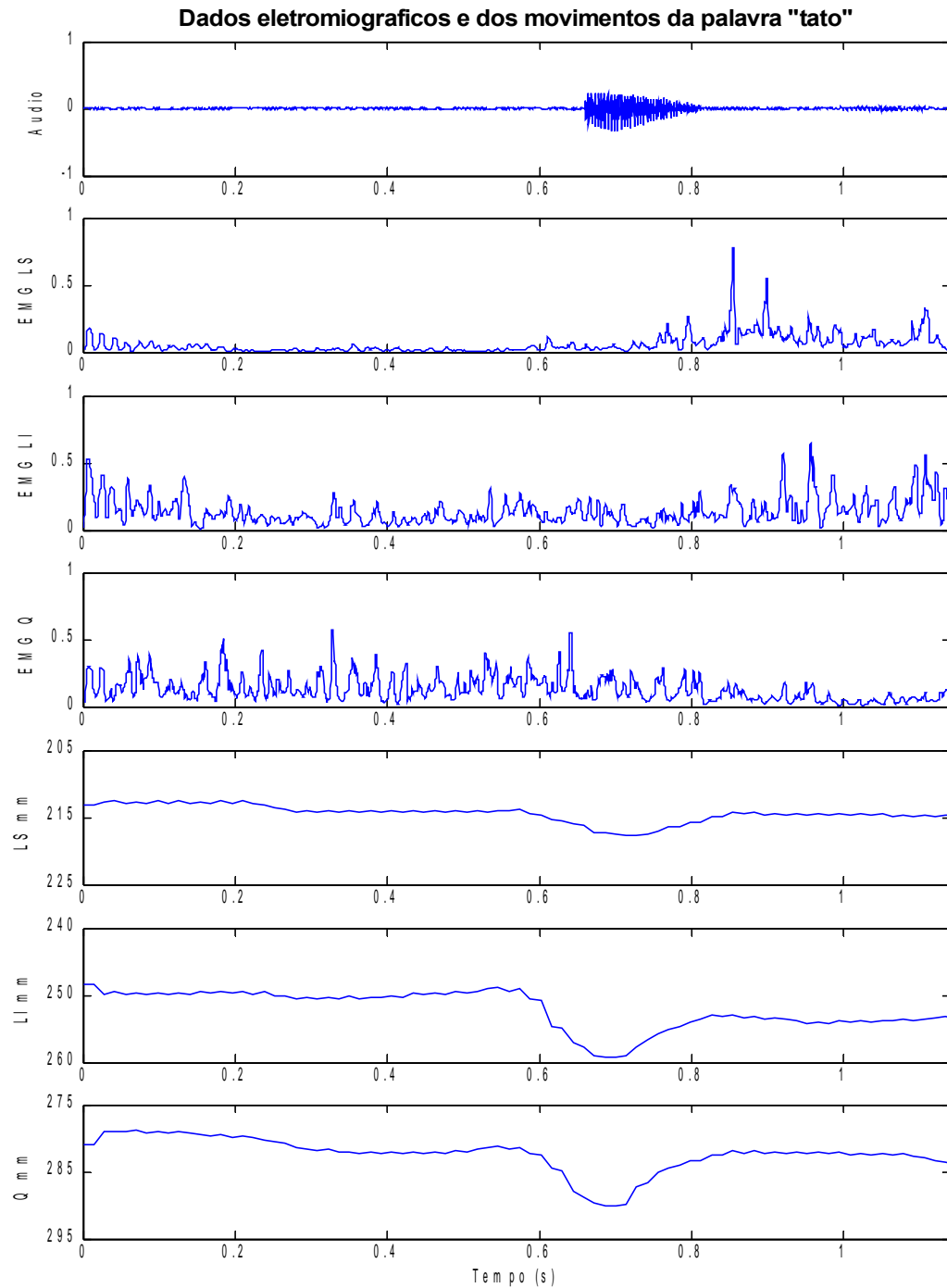


Figura B.8 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /tato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

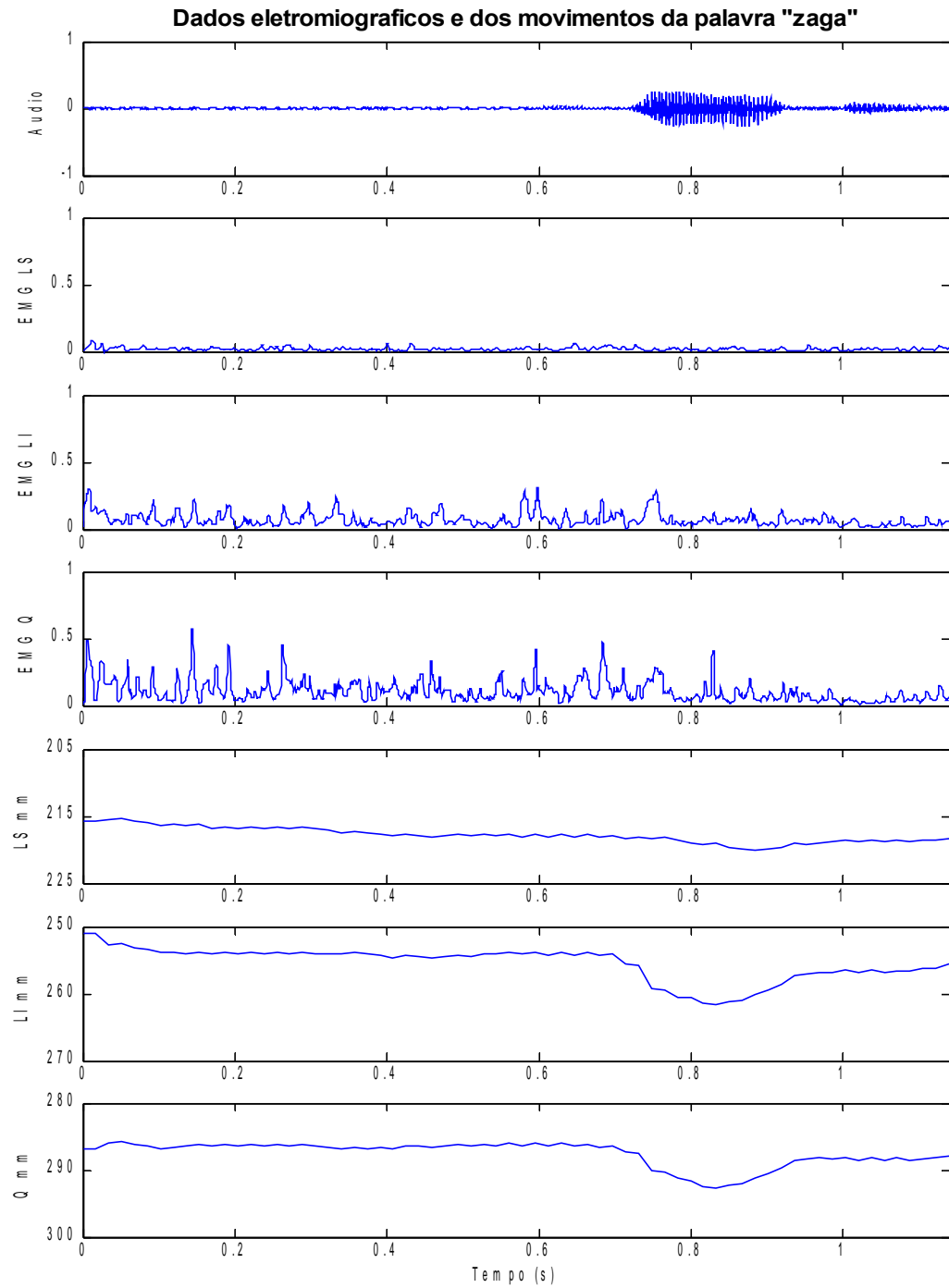


Figura B.9 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /zaga/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

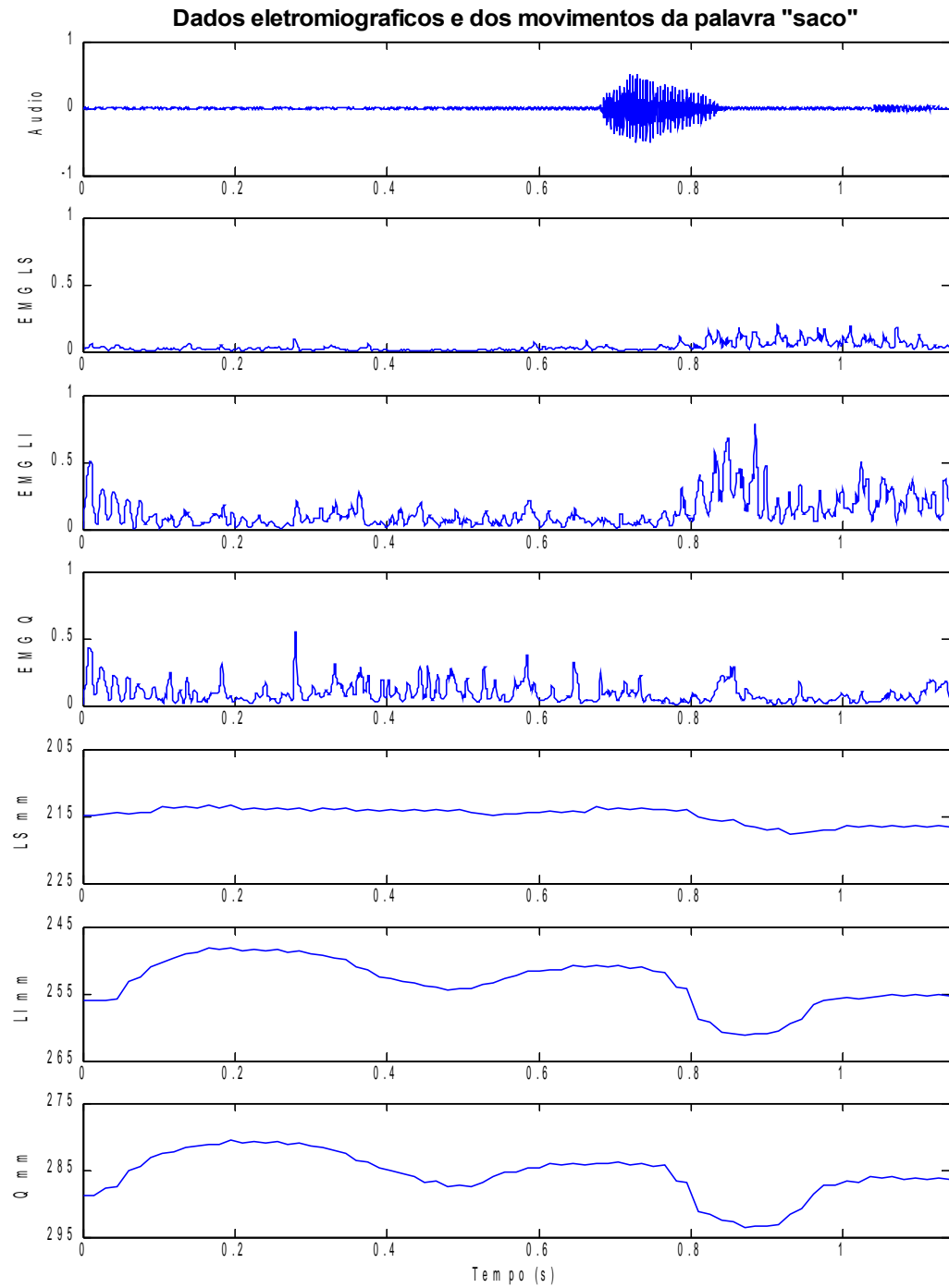


Figura B.10 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /saco/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

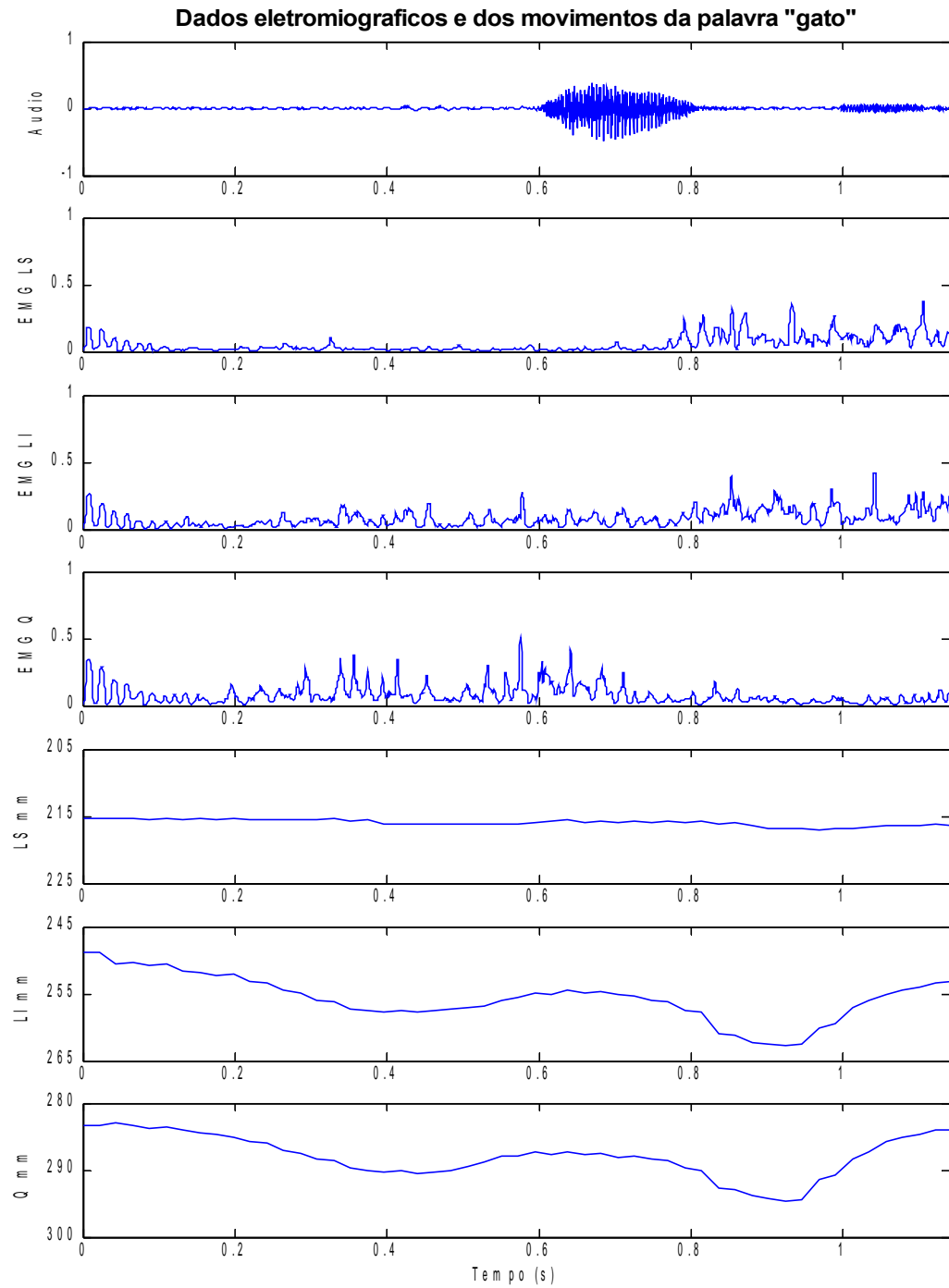


Figura B.11 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /gato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

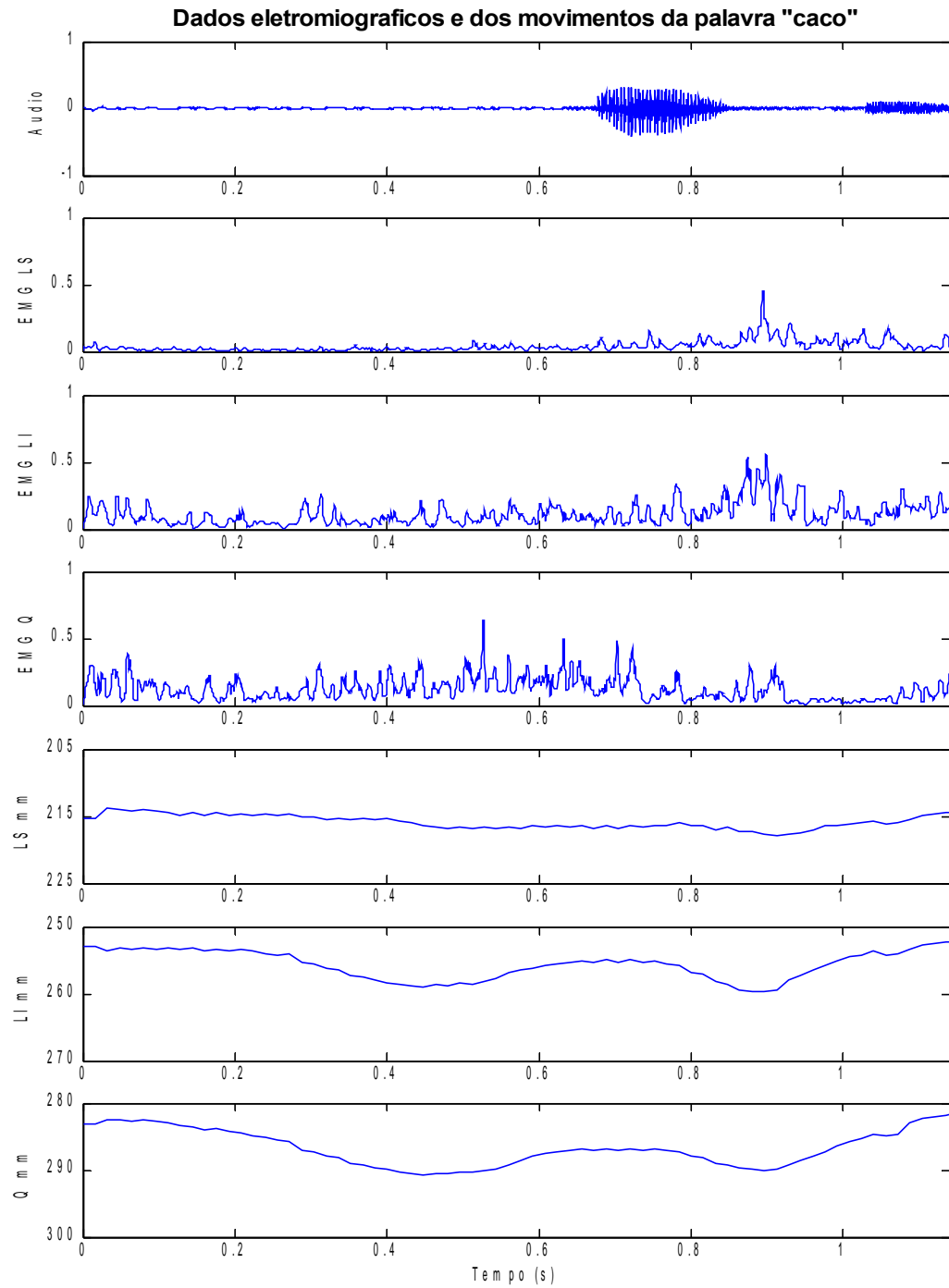


Figura B.12 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /caco/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

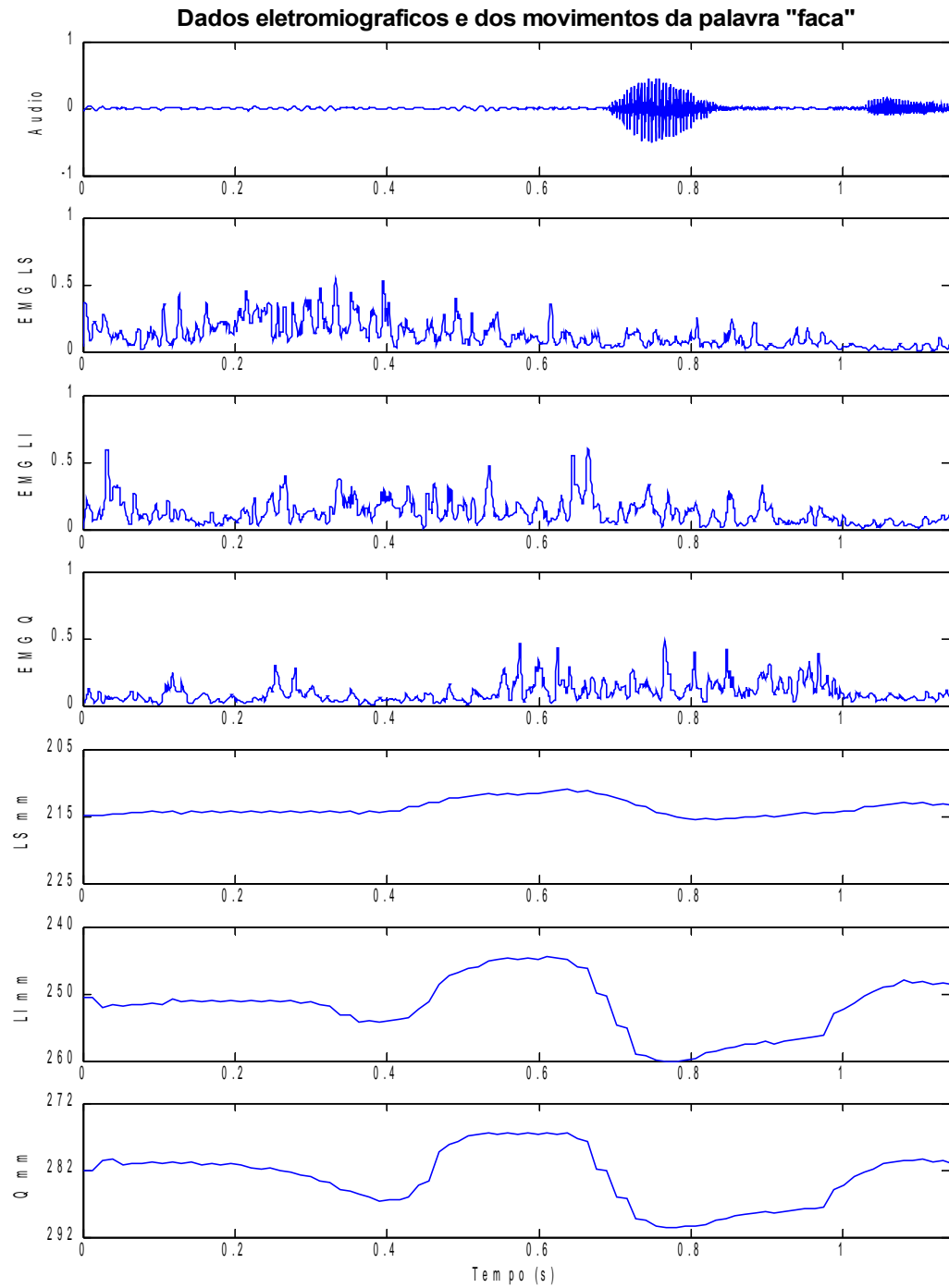


Figura B.13 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /faca/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

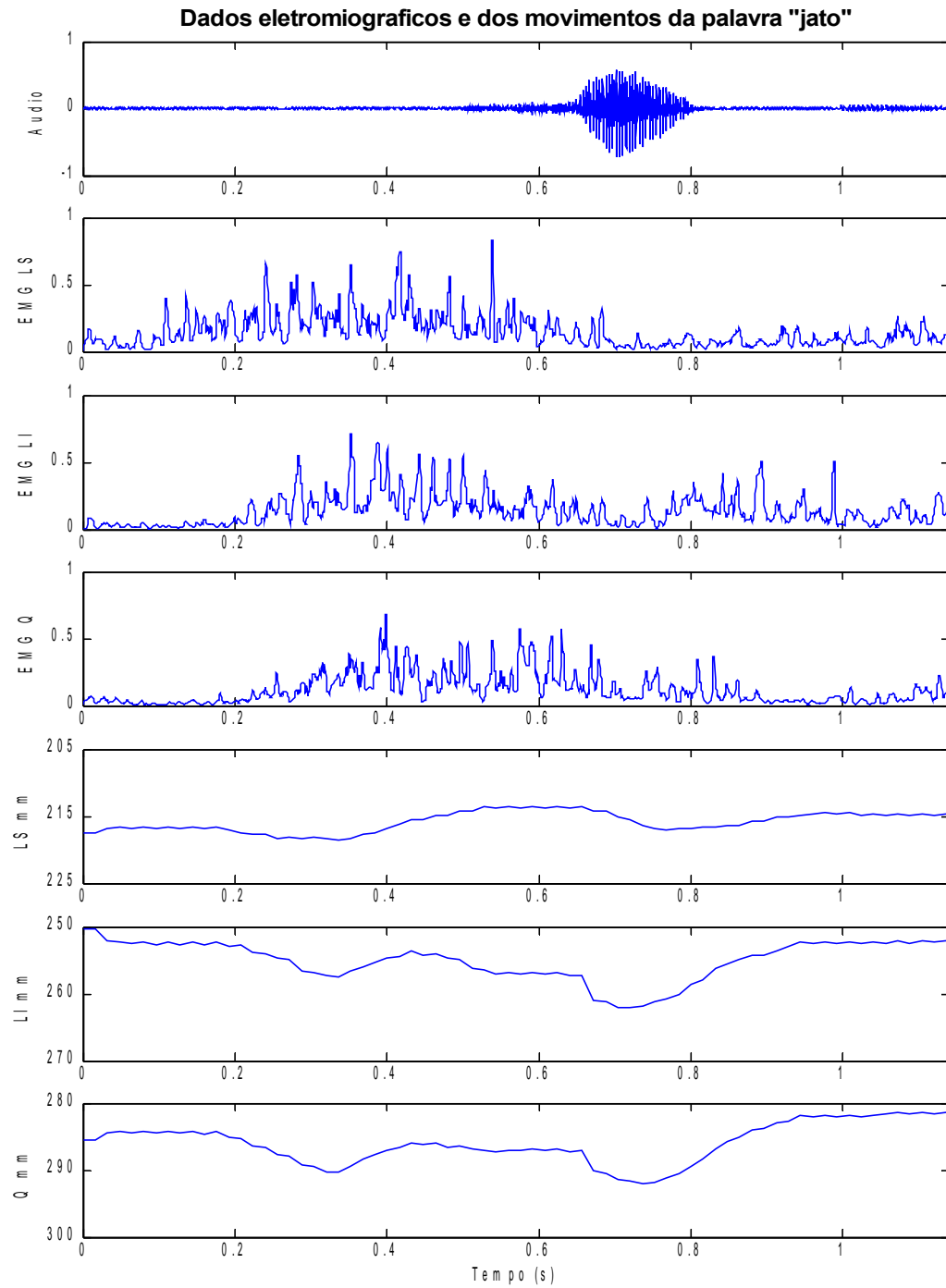


Figura B.14 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /jato/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

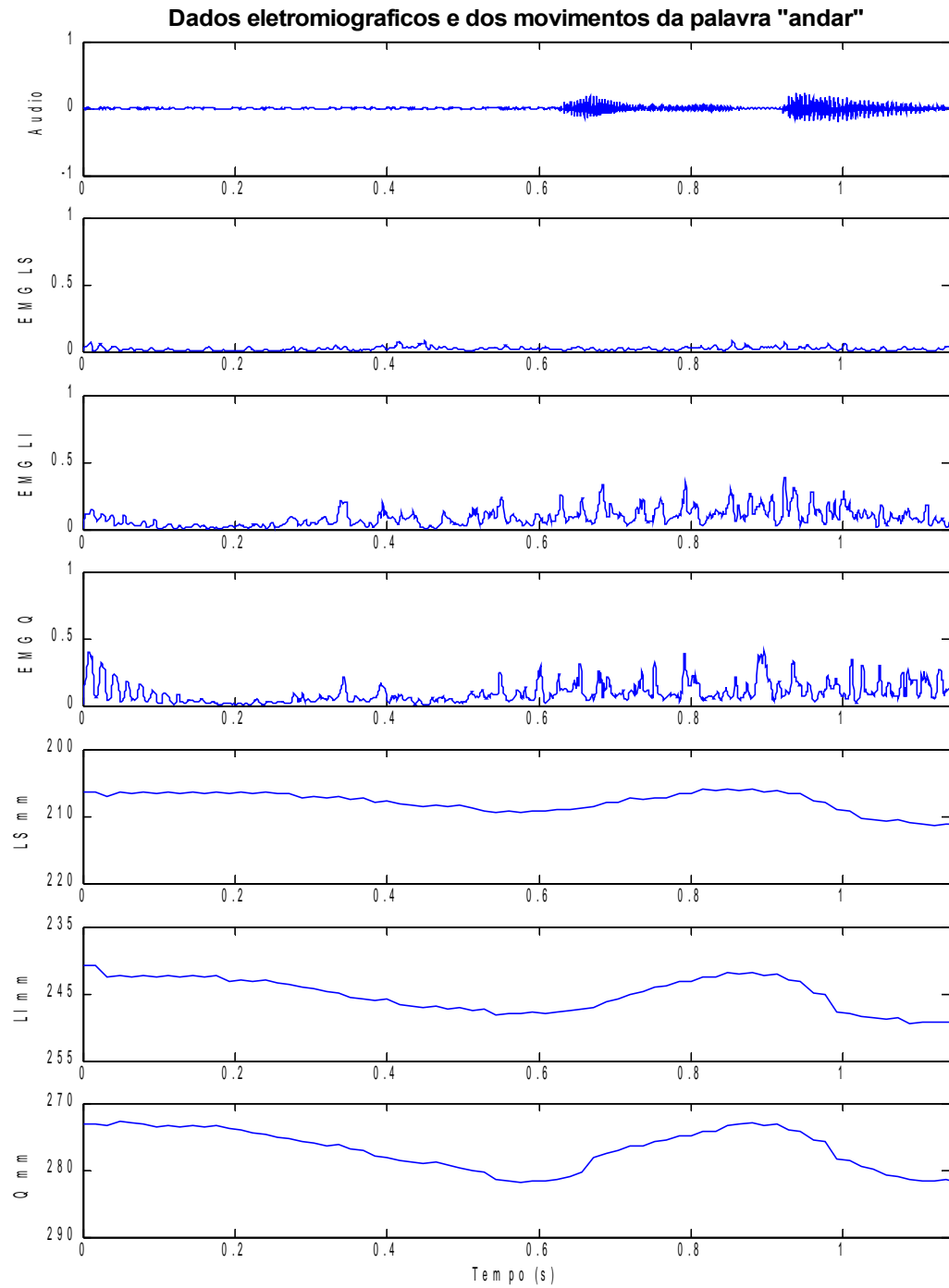


Figura B.15 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /andar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

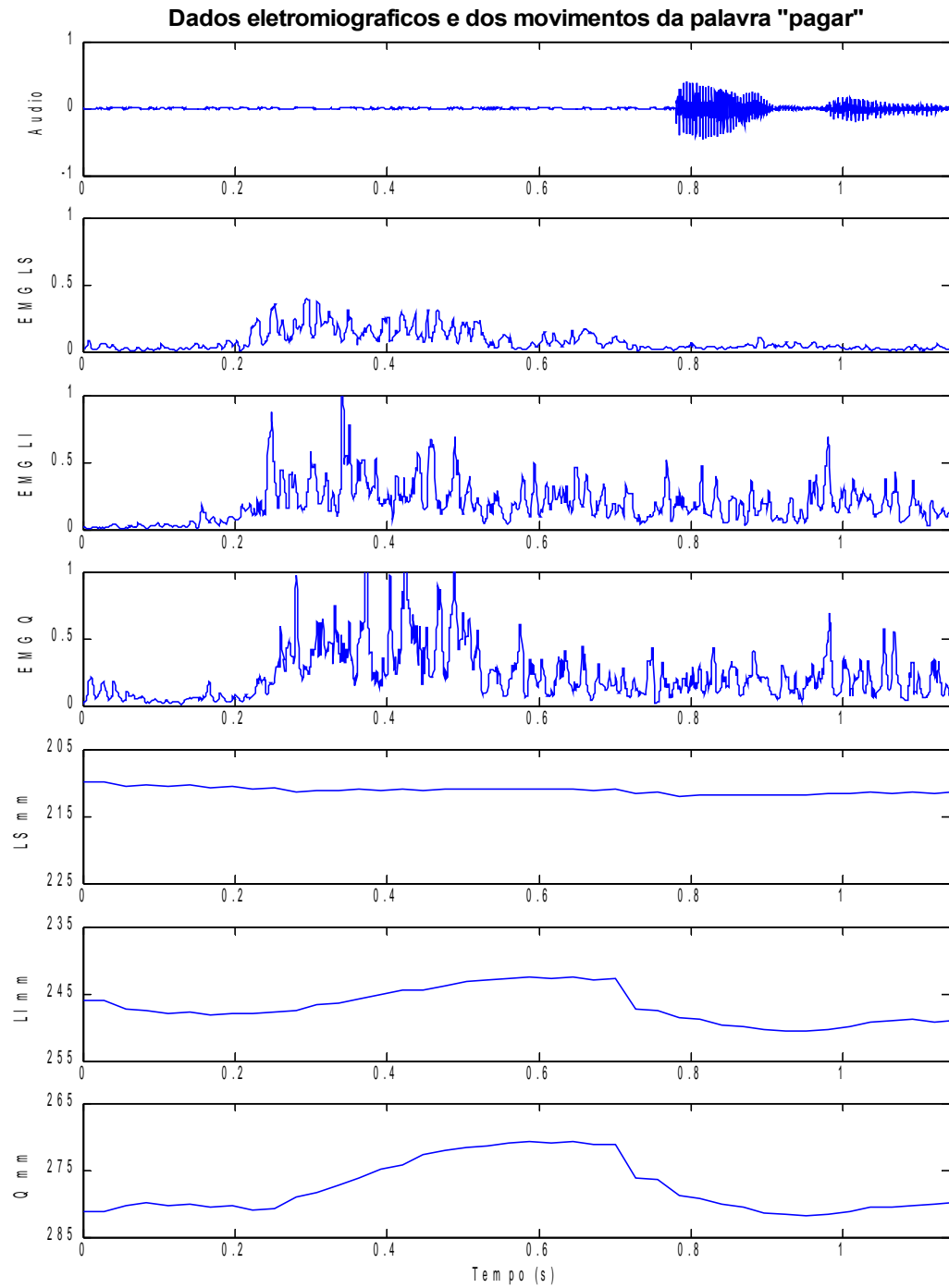


Figura B.16 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /pagar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

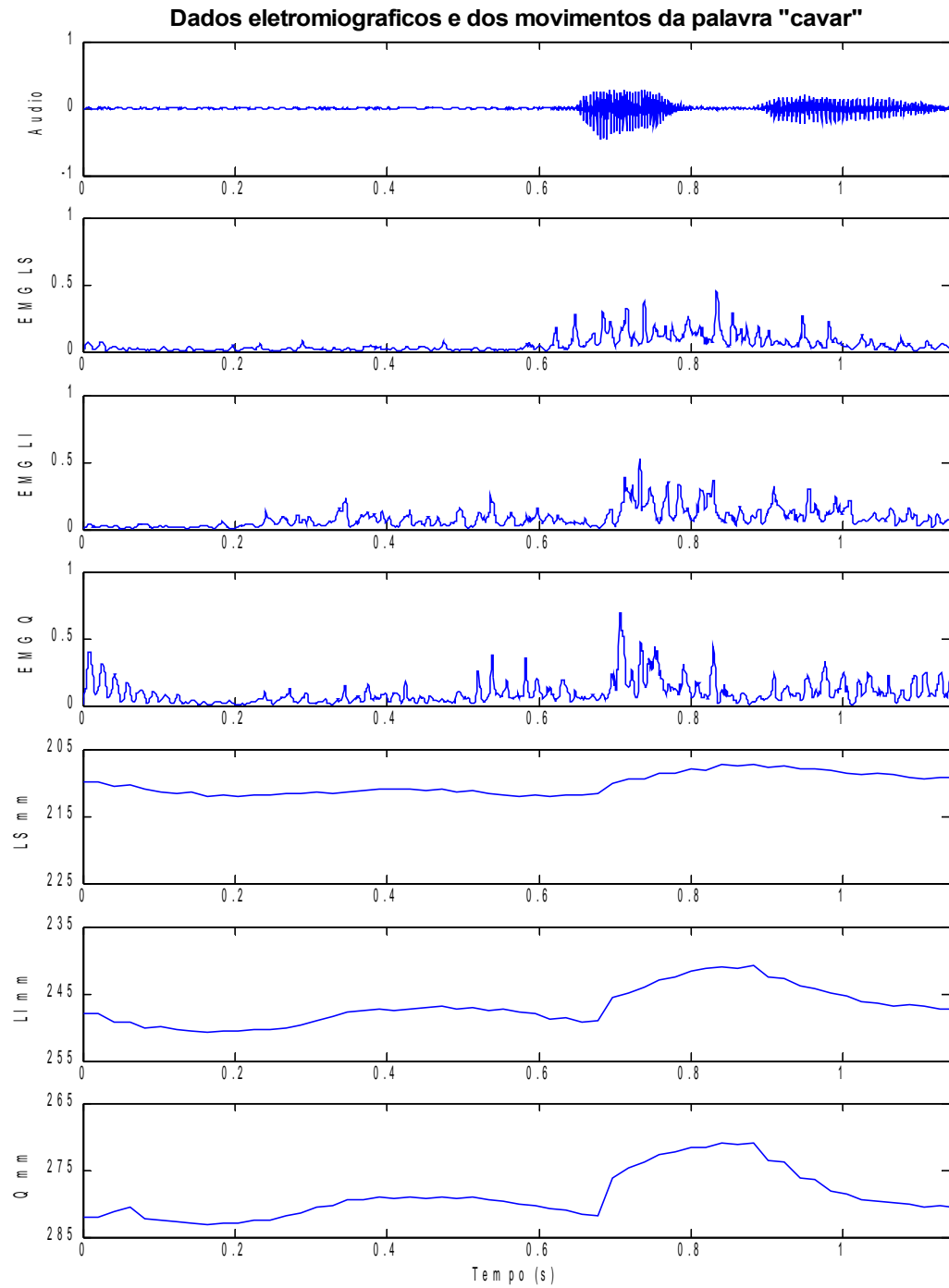


Figura B.17 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /cavar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

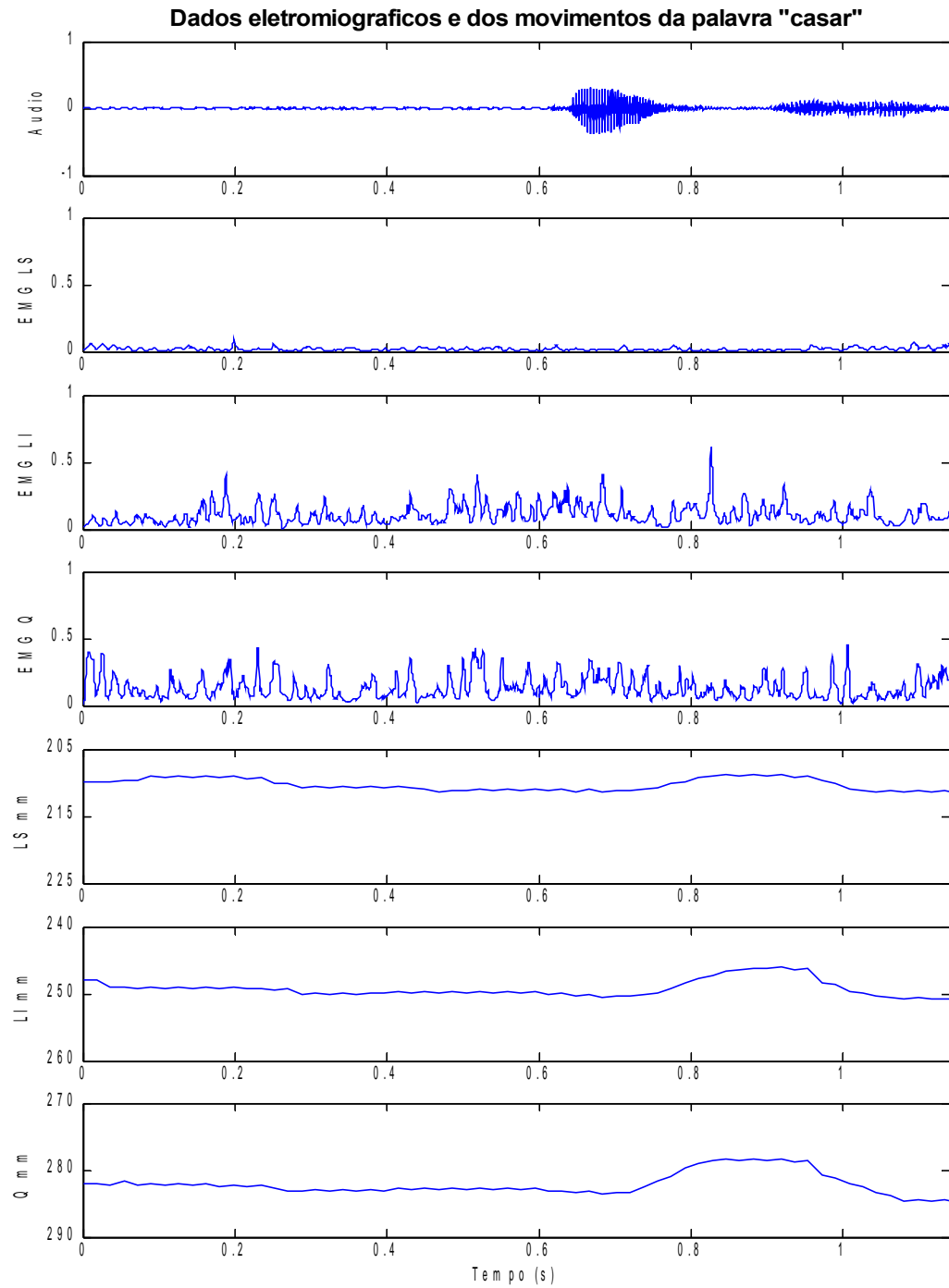


Figura B.18 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /casar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

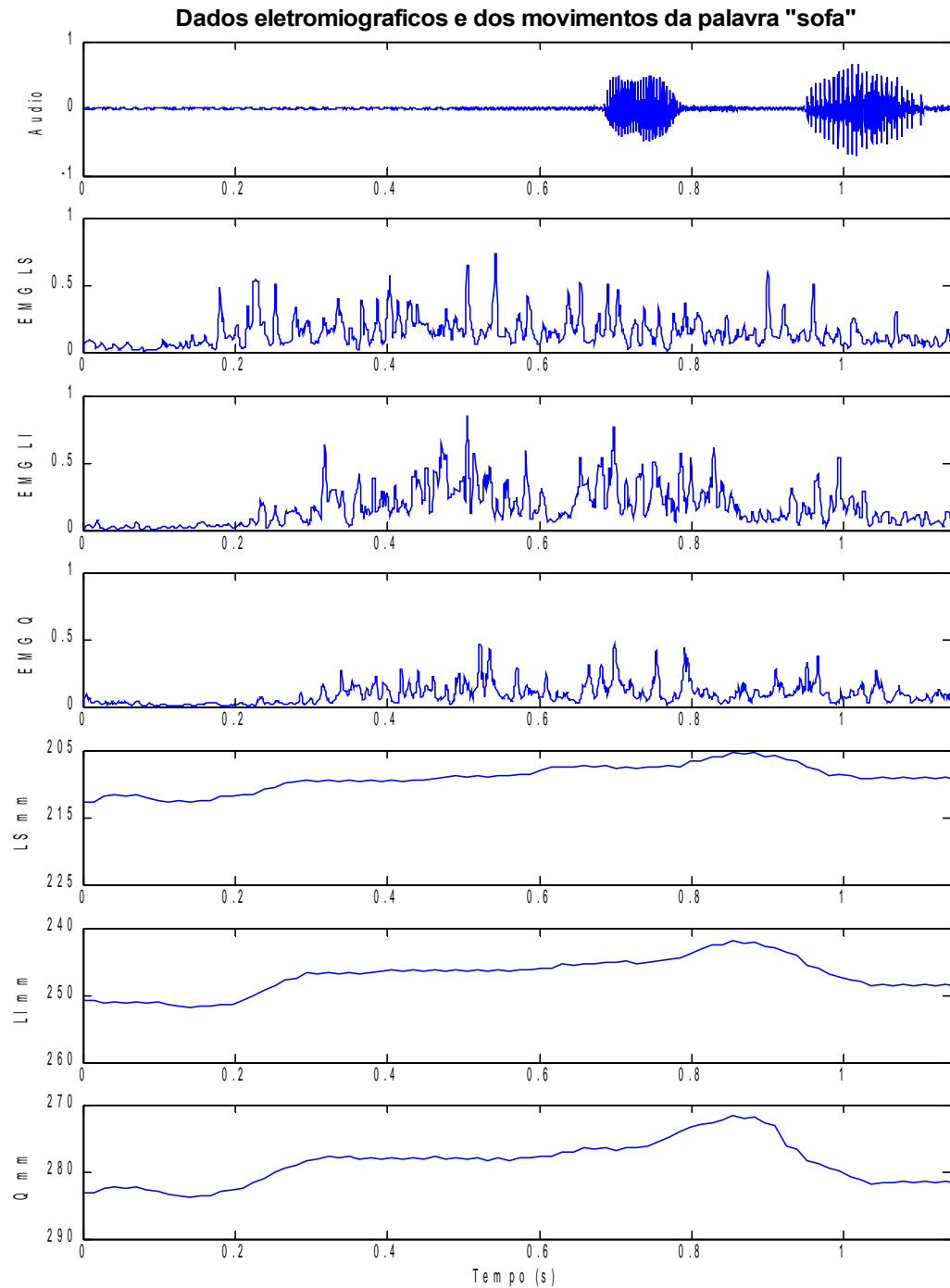


Figura B.19 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /sofá/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

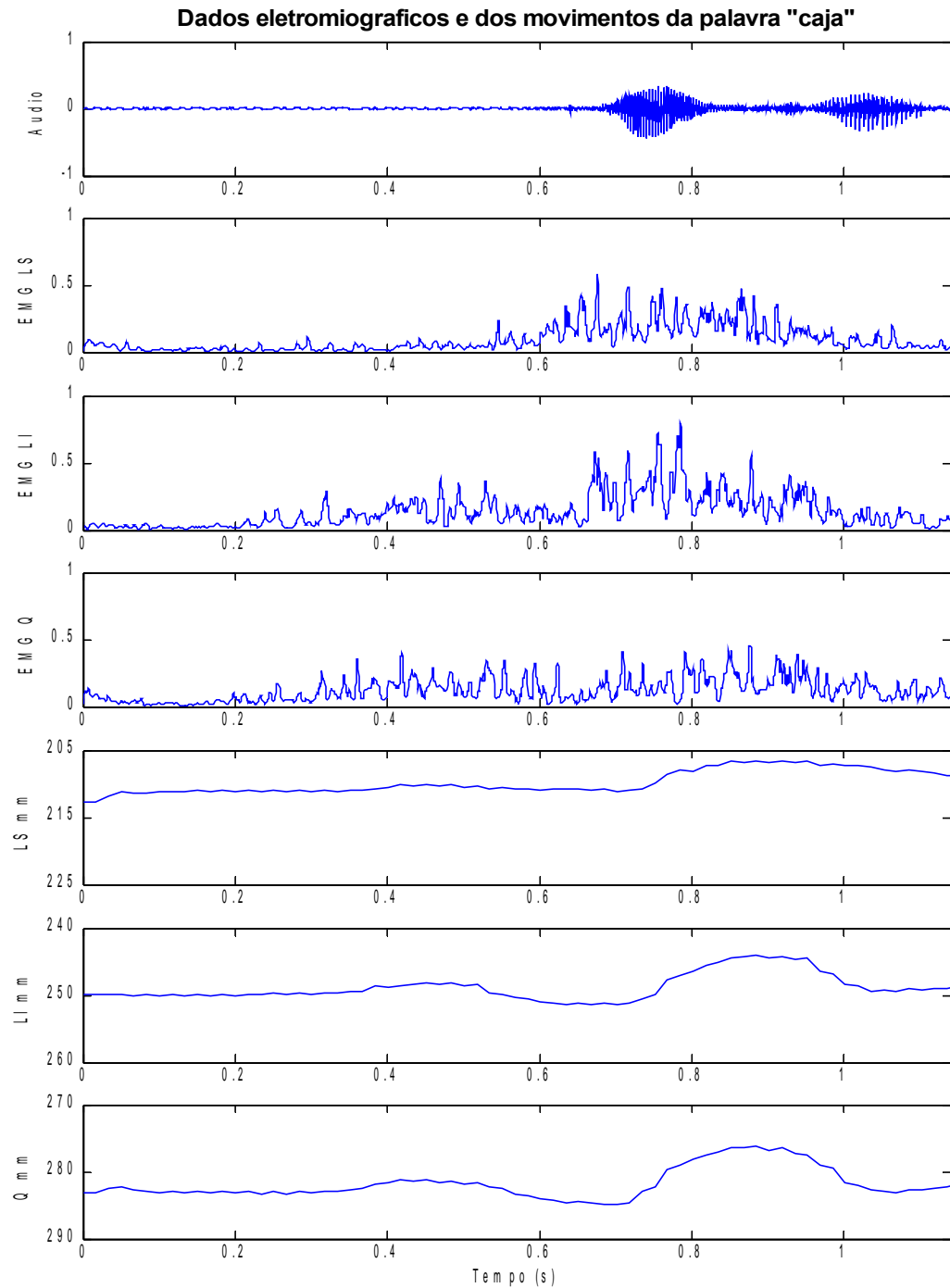


Figura B.20 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /cajá/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

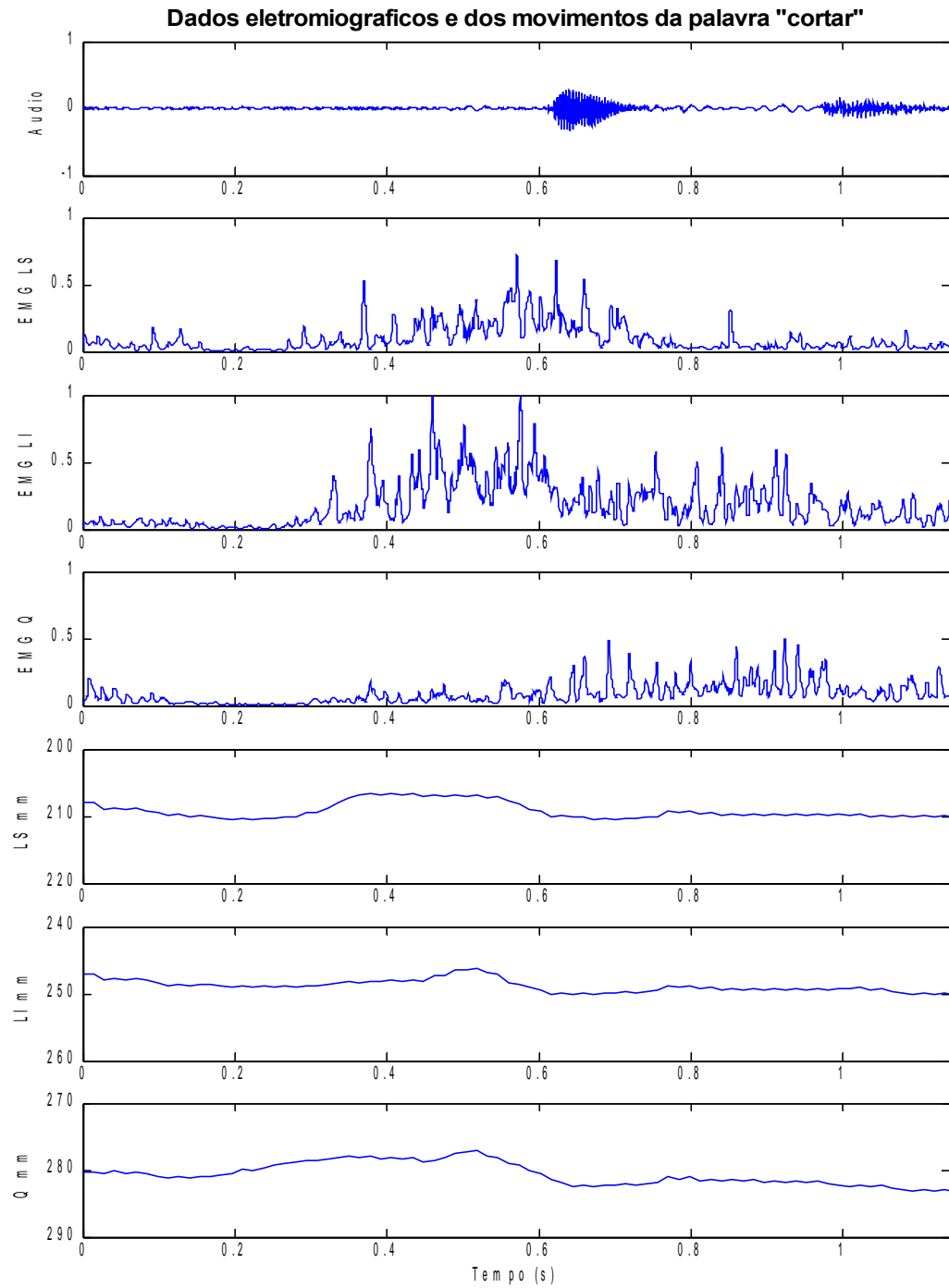


Figura B.21 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /cortar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

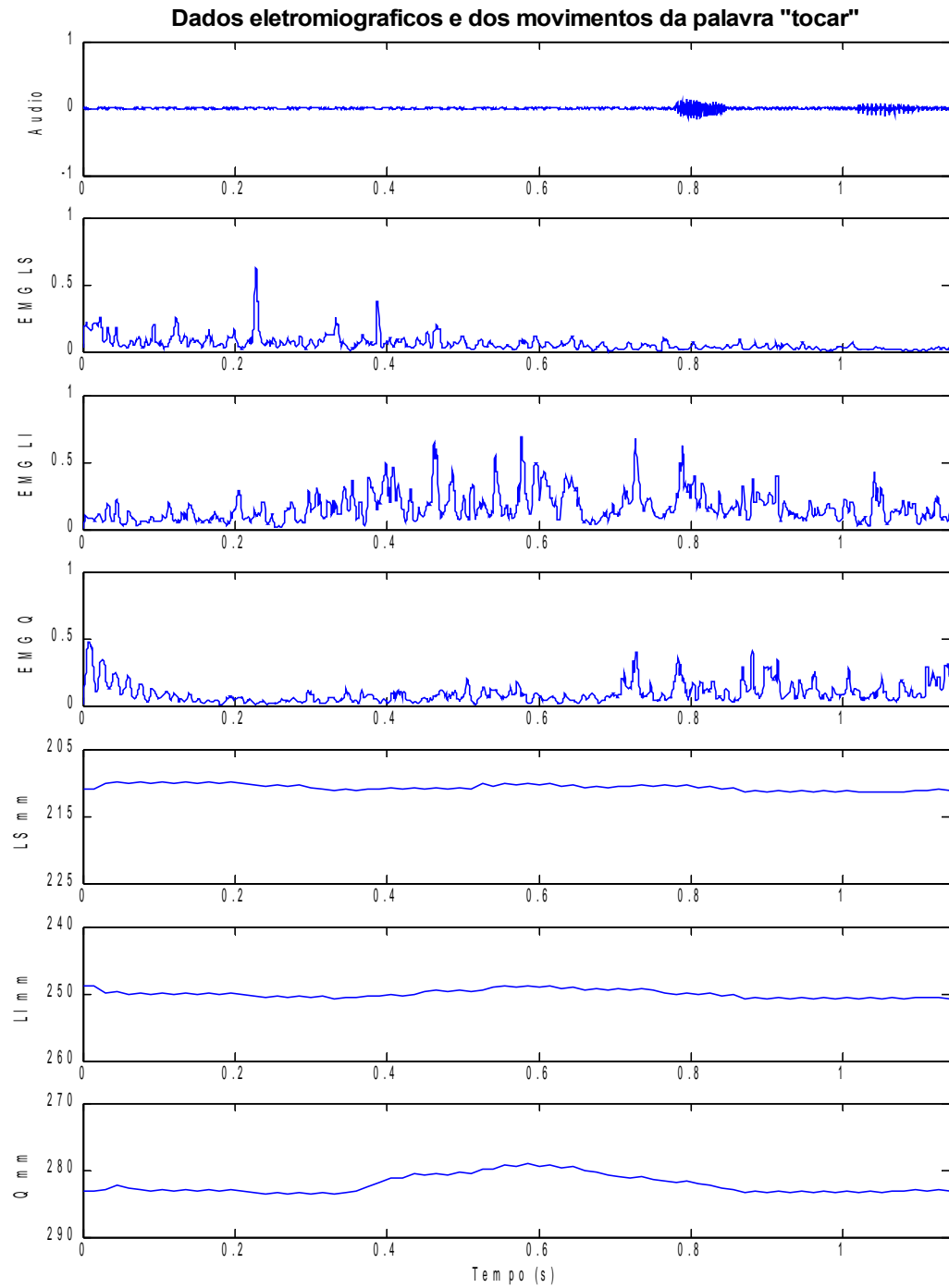


Figura B.22 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /tocar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

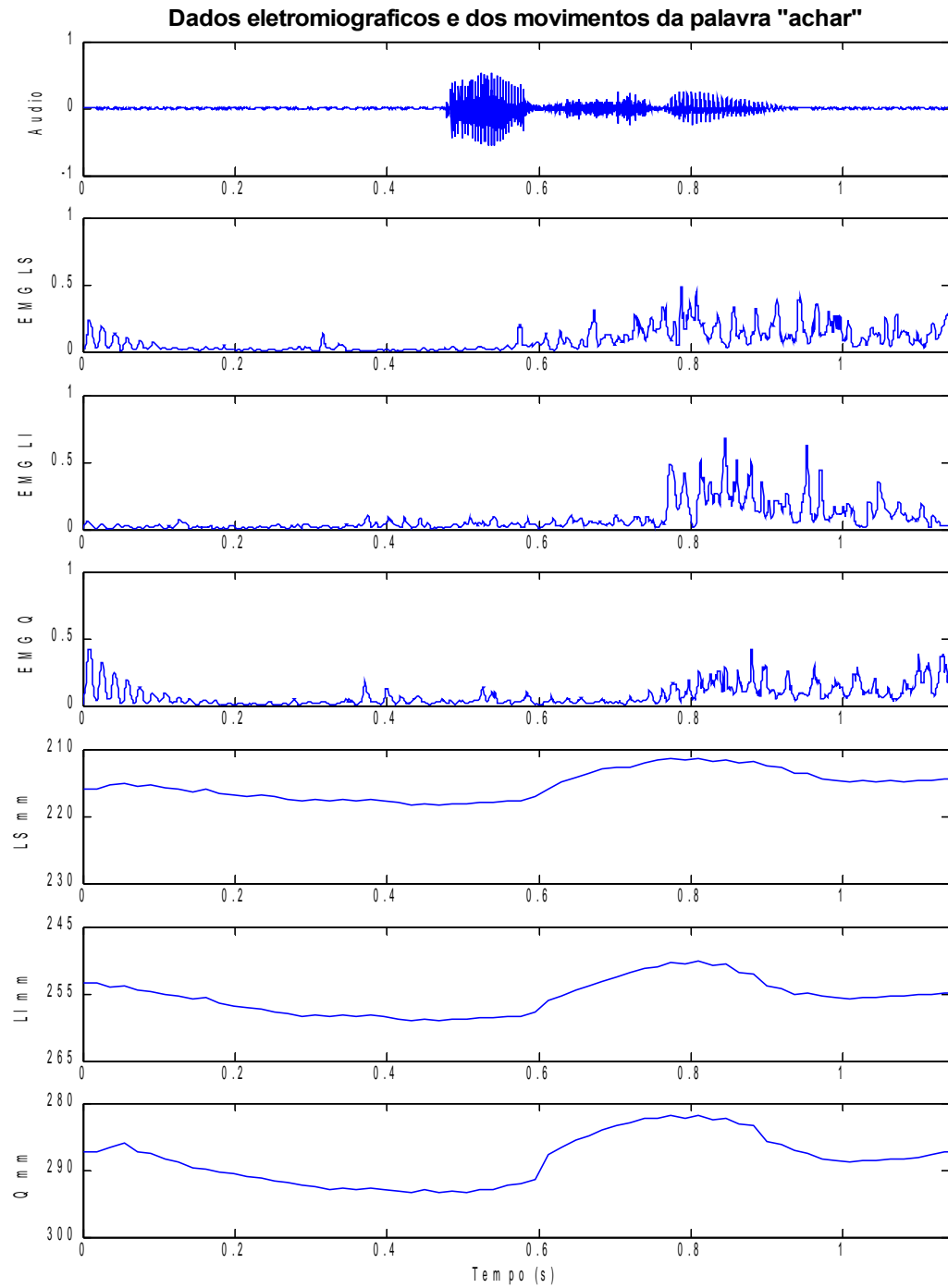


Figura B.23 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /achar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

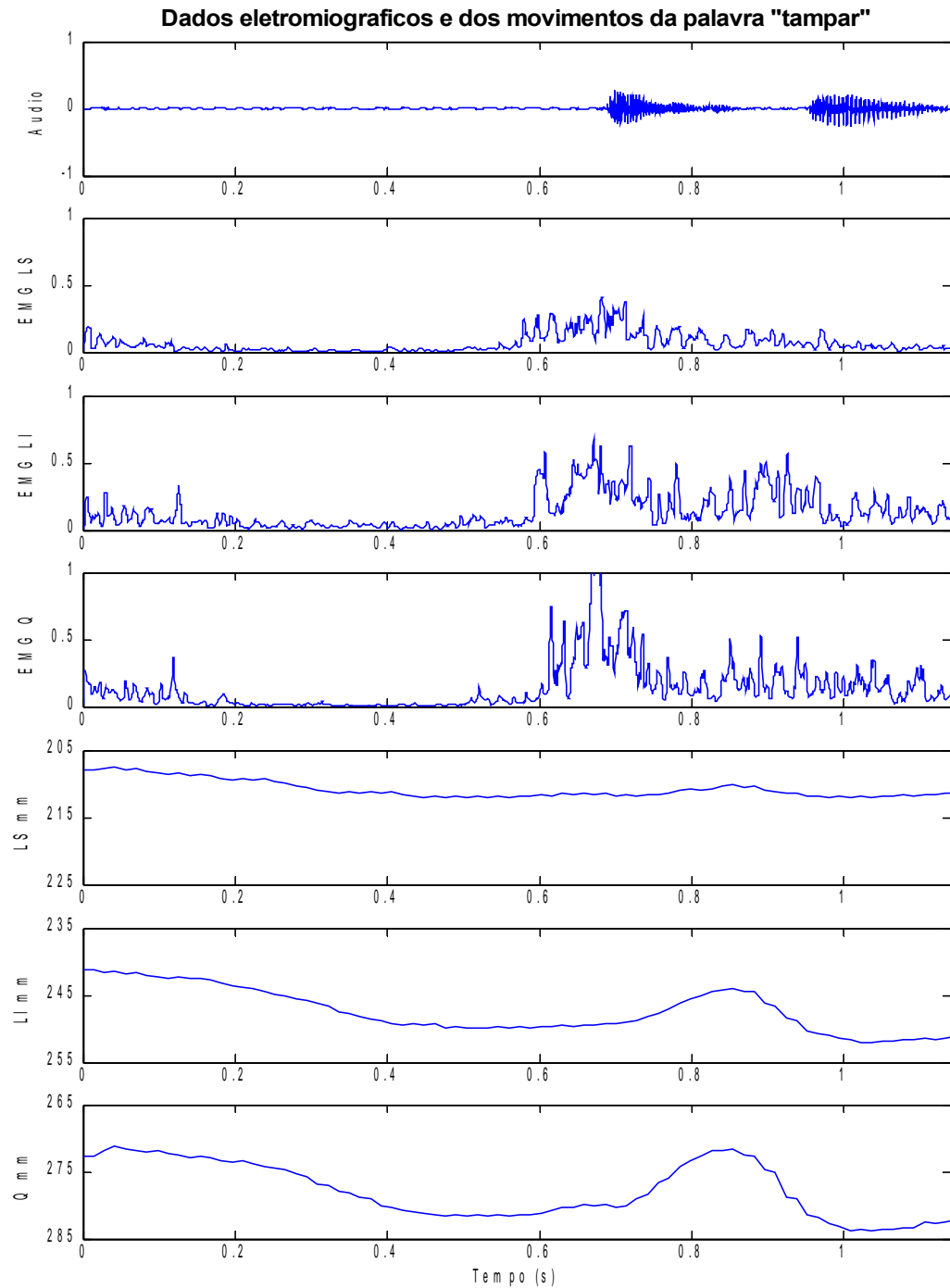


Figura B.24 Dados eletromiográficos e do movimento facial para a palavra /tampar/. EMG: eletromiografia (mV). LS: lábio superior. LI: lábio inferior. Q: queixo. Movimento em milímetros.

APÊNDICE C – Figuras da correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial (sílabas)

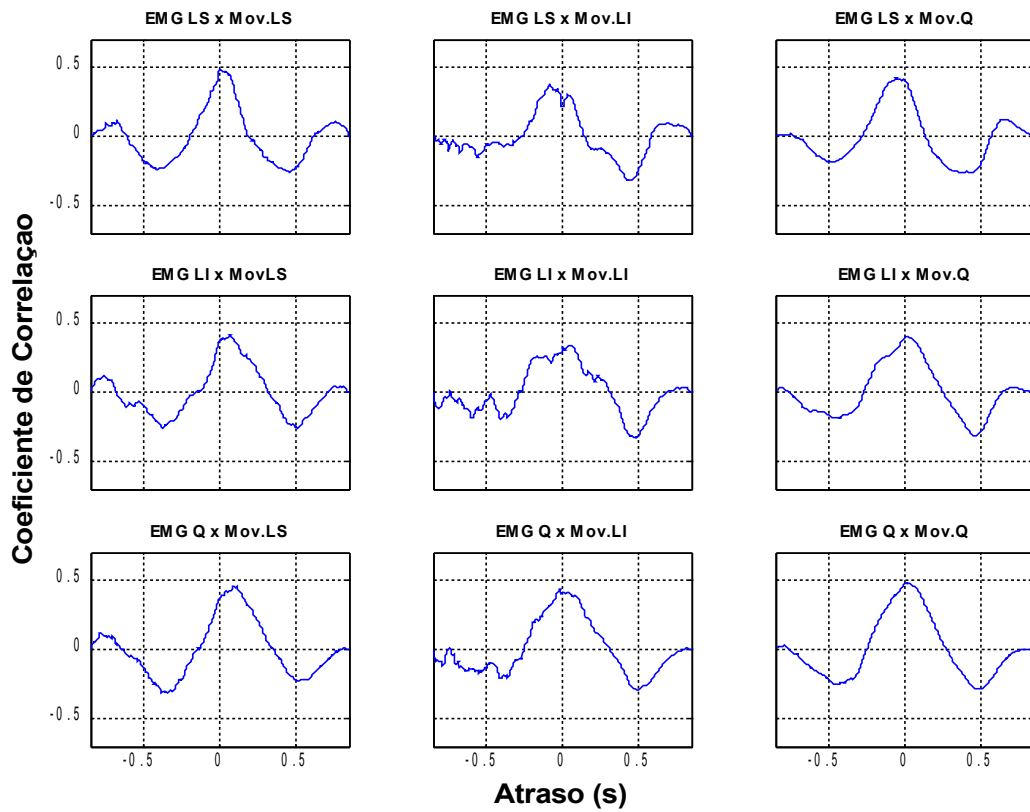


Figura C.1 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /ka/

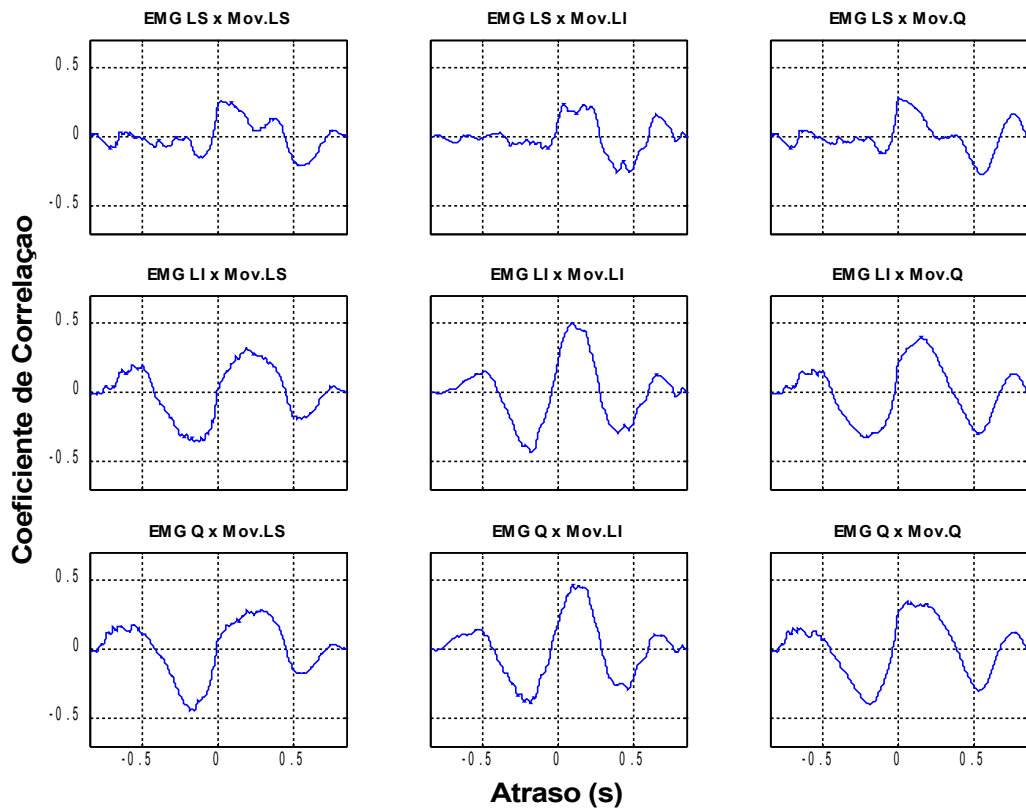


Figura C.2 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /ta/

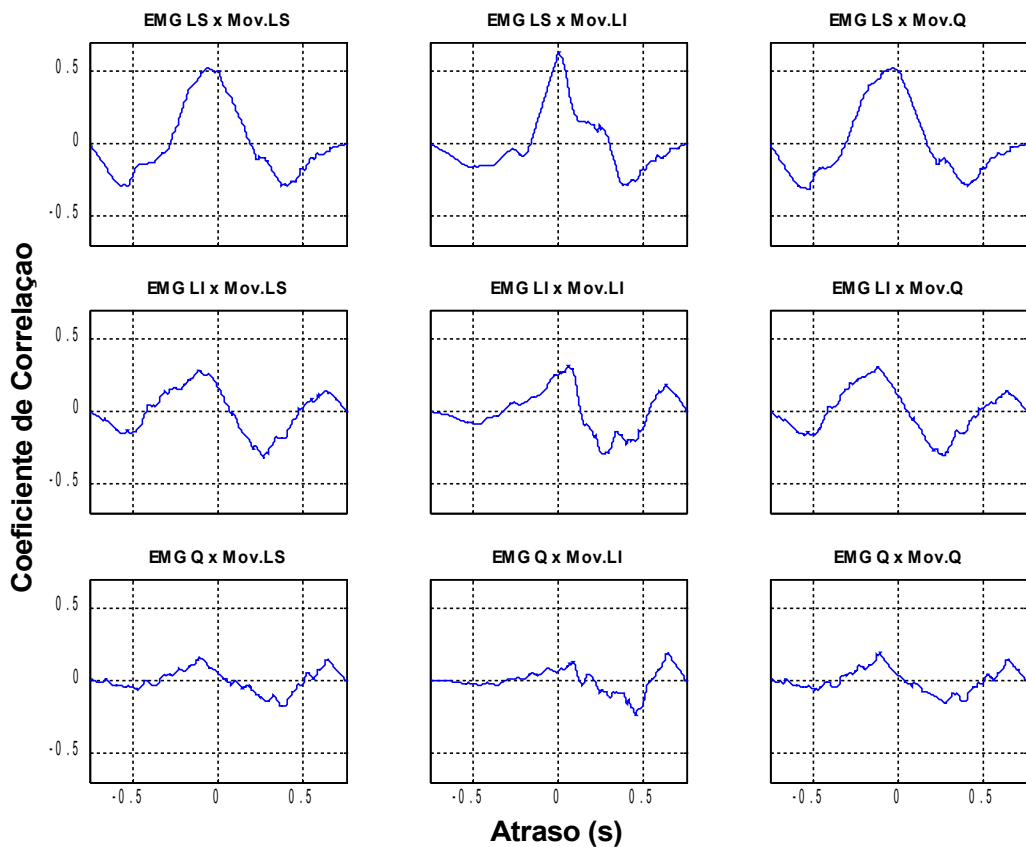


Figura C.3 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /pa/

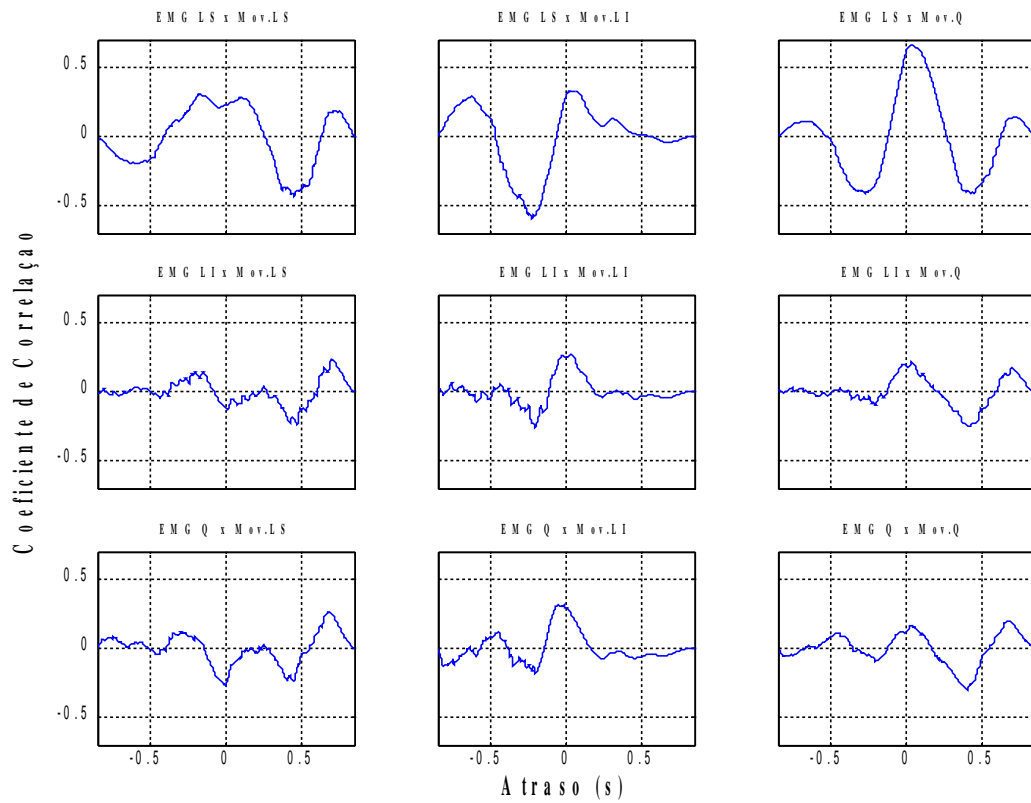


Figura C.4 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /ba/

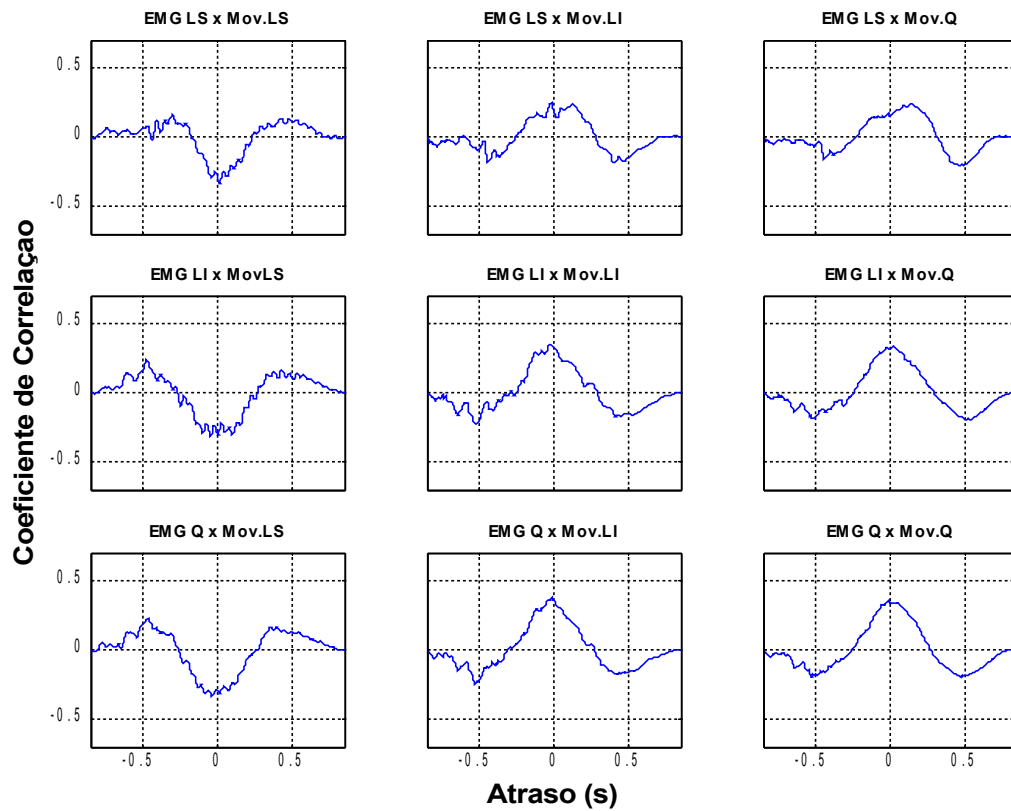


Figura C.5 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /da/

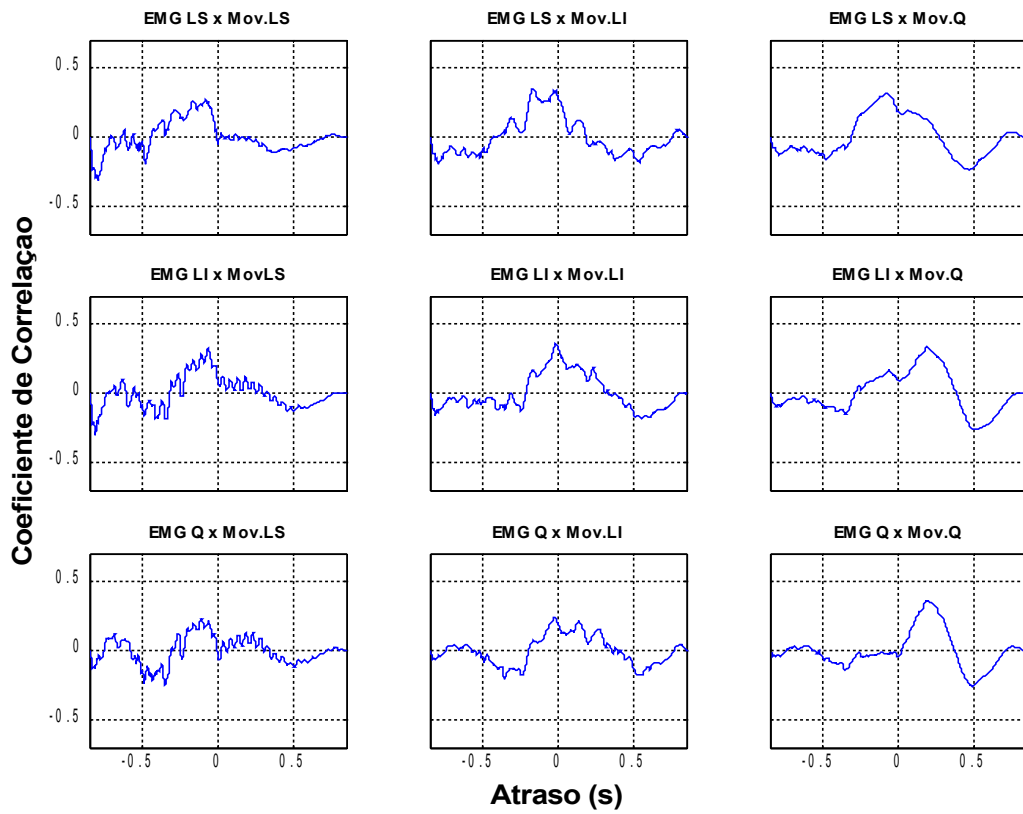


Figura C.6 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /ga/

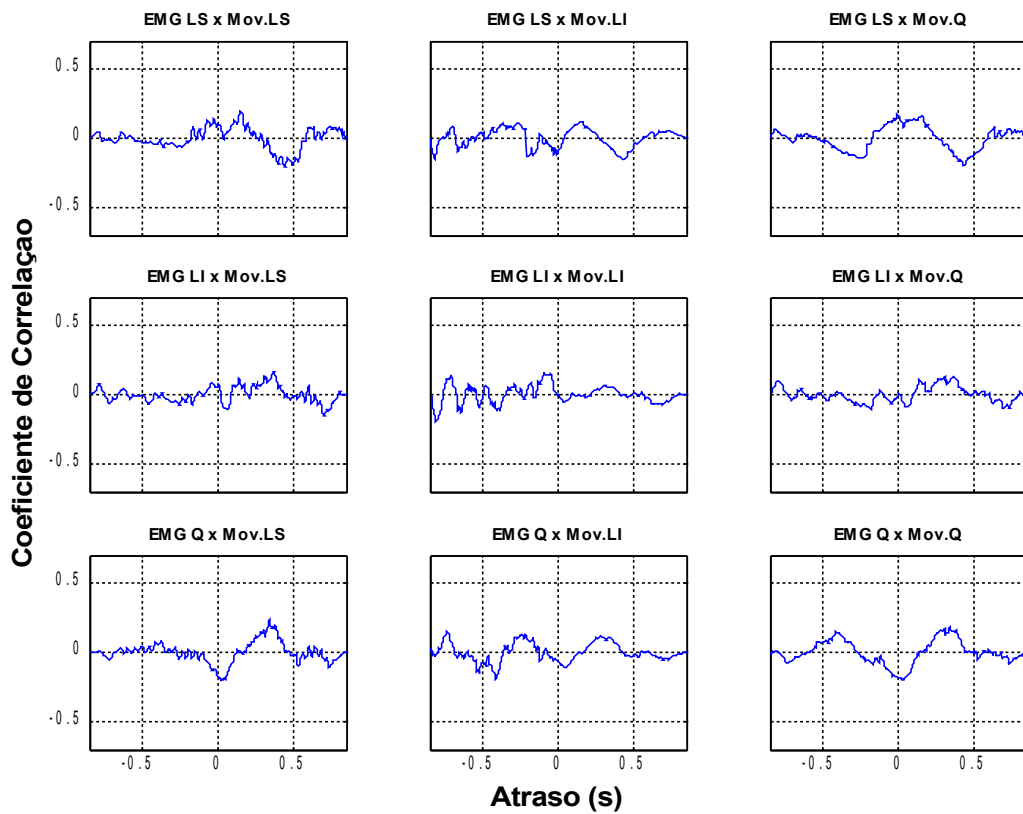


Figura C.7 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /sa/

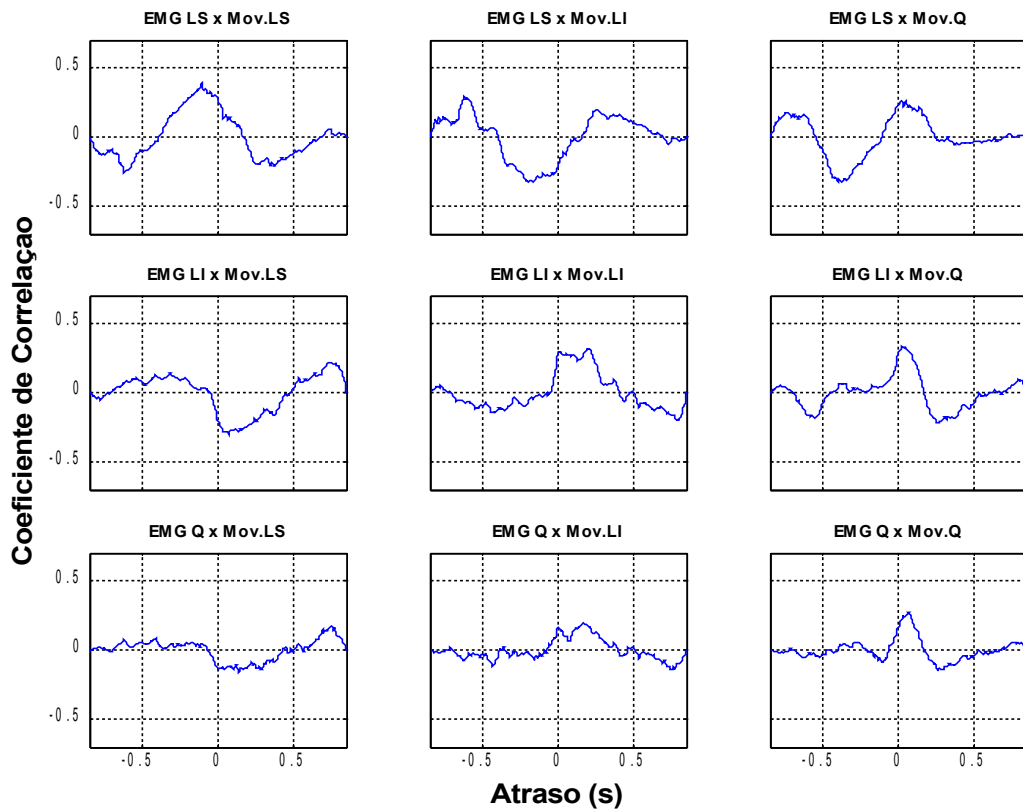


Figura C.8 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /za/

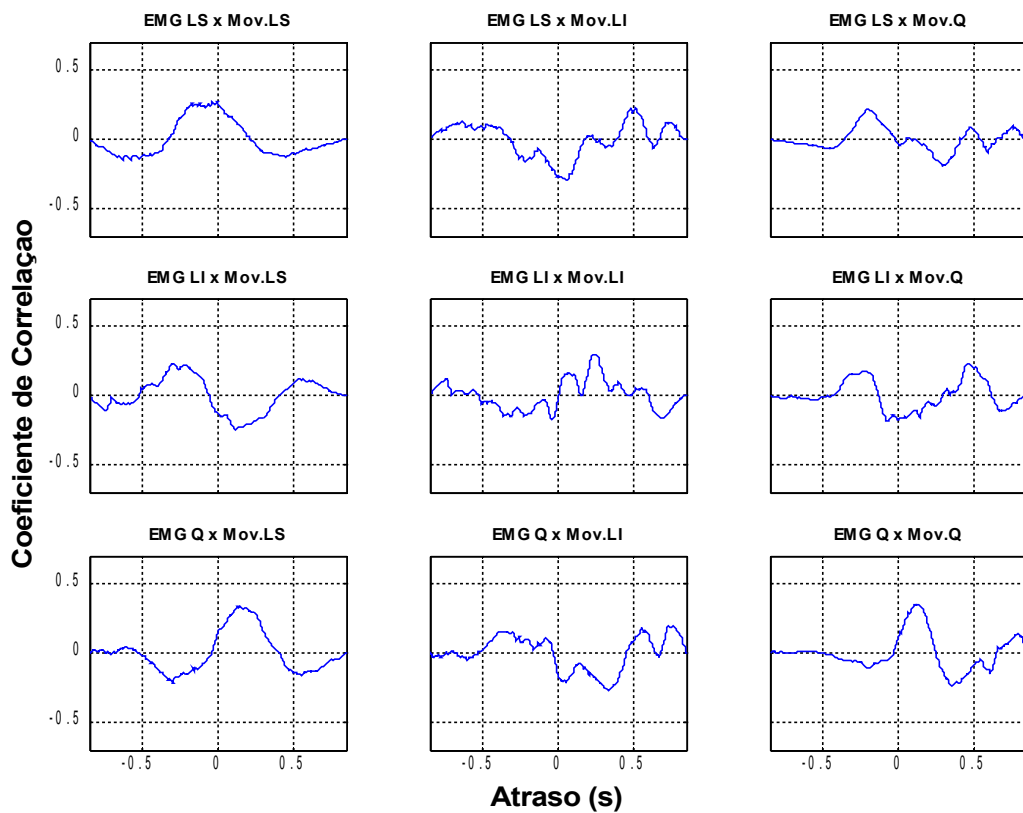


Figura C.9 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /va/

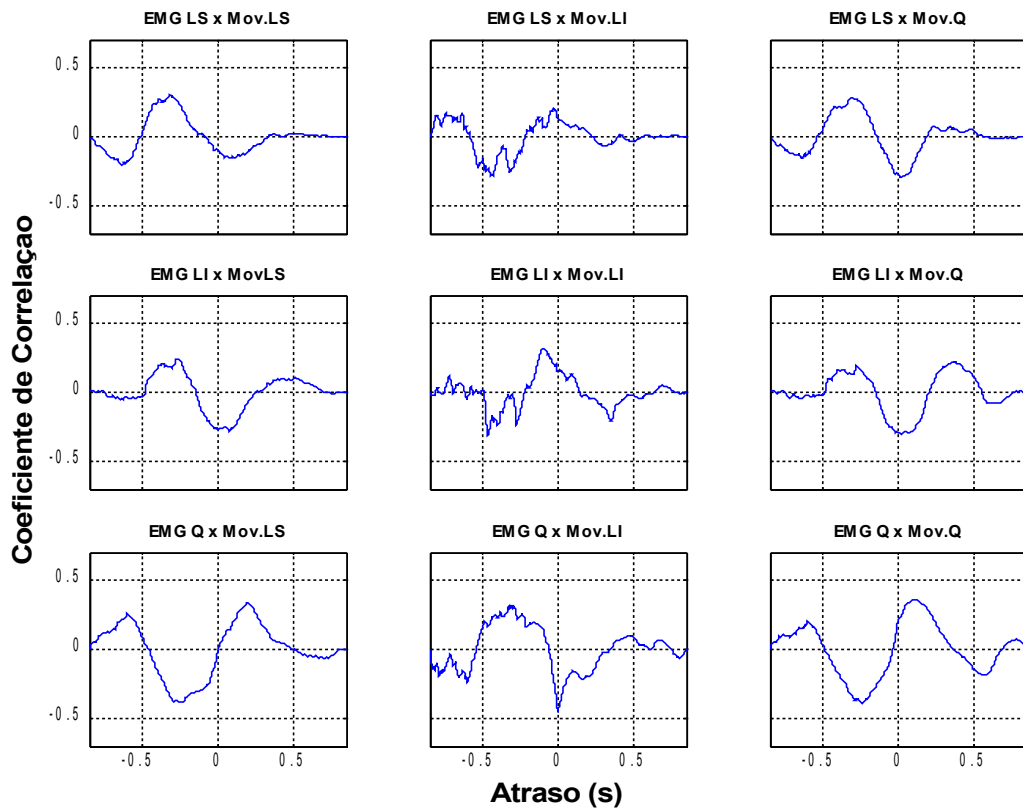


Figura C.10 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /fa/

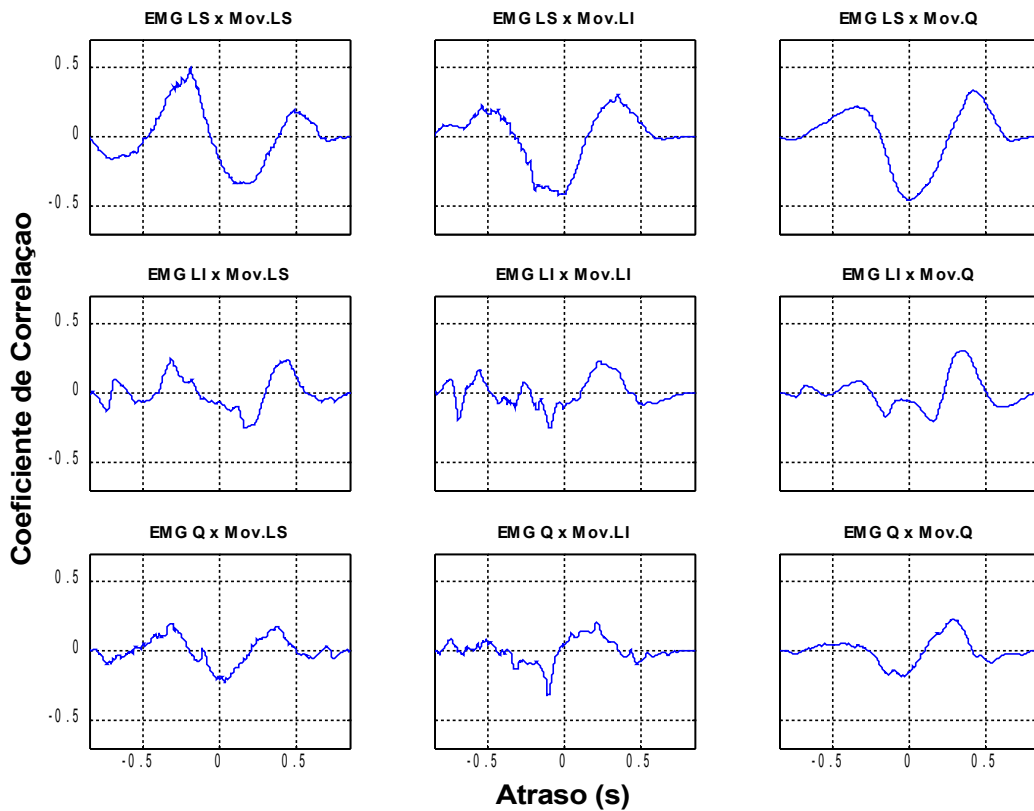


Figura C.11 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /ja/

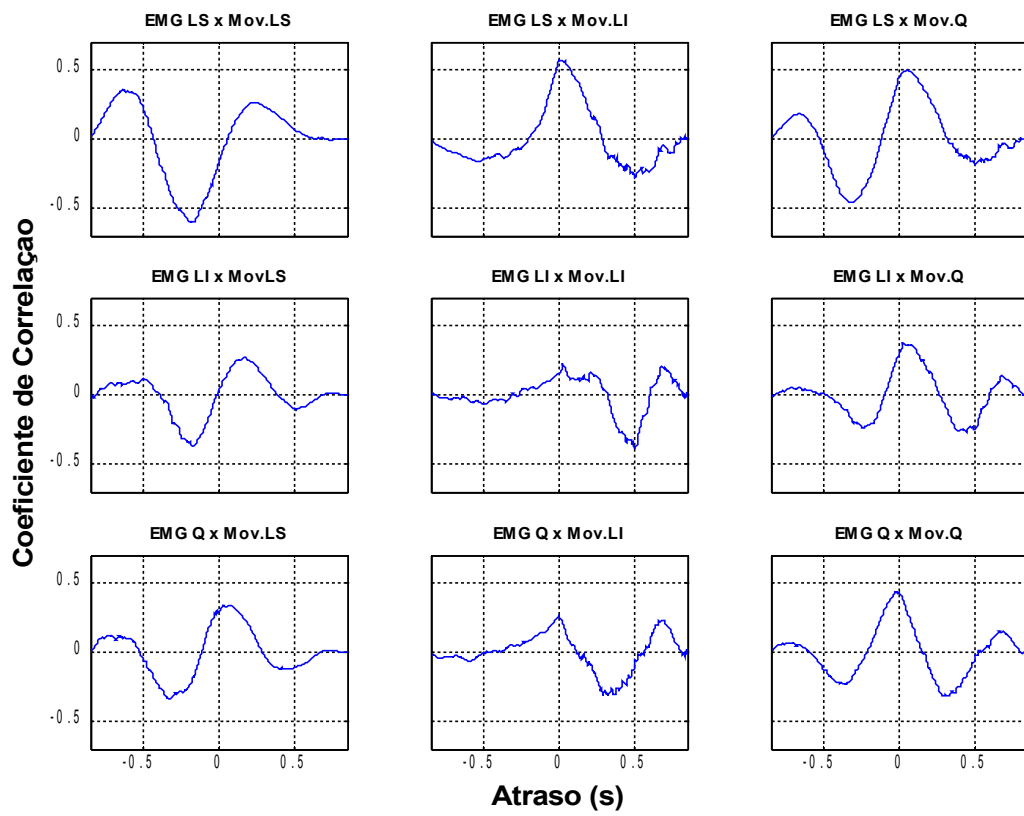


Figura C.12 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – monossílabo /sha/

APÊNDICE D – Figuras da correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial (palavras)

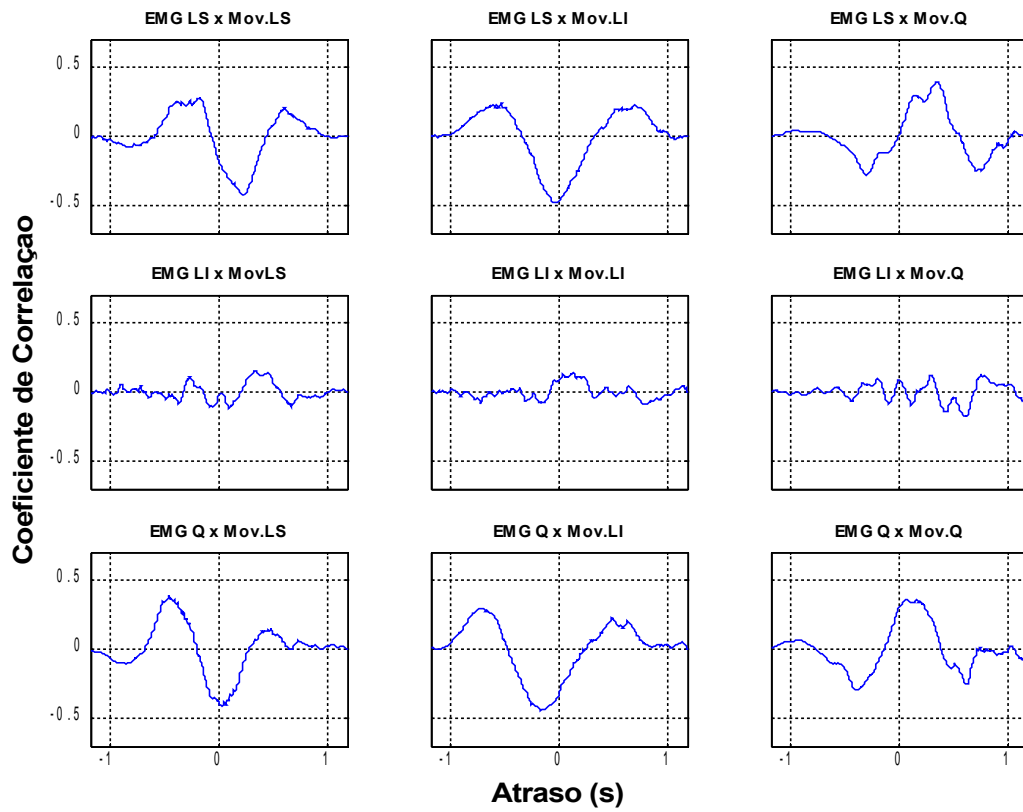


Figura D.1 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /chato/

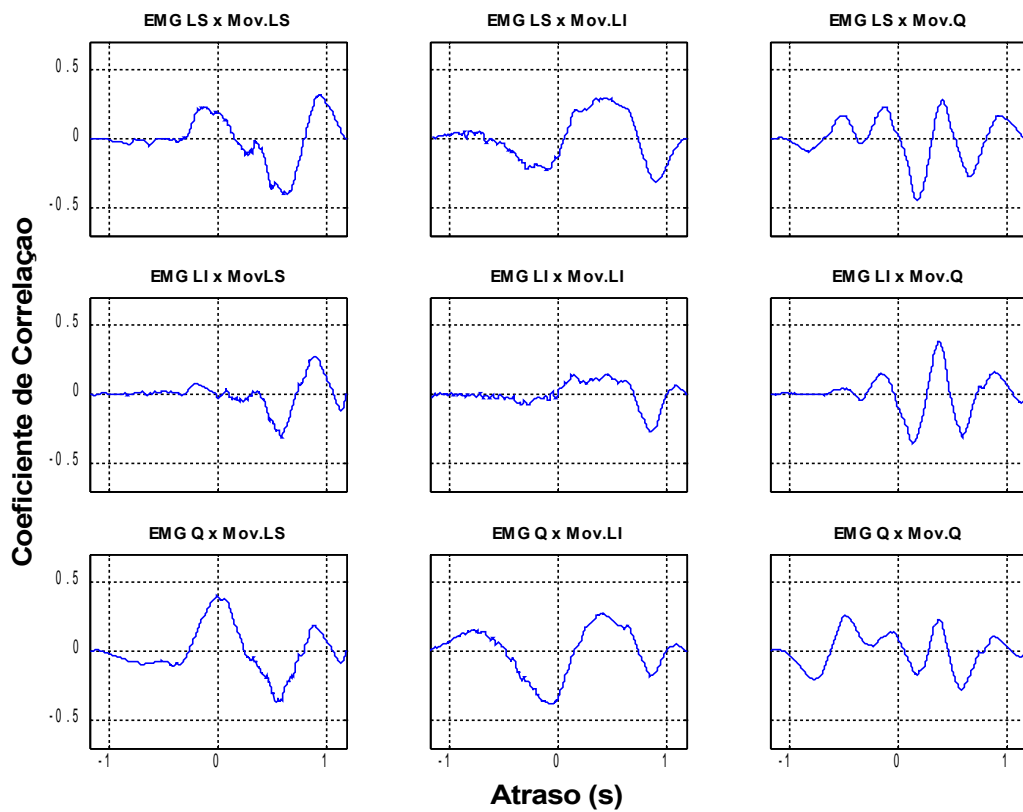


Figura D.2 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /pato/

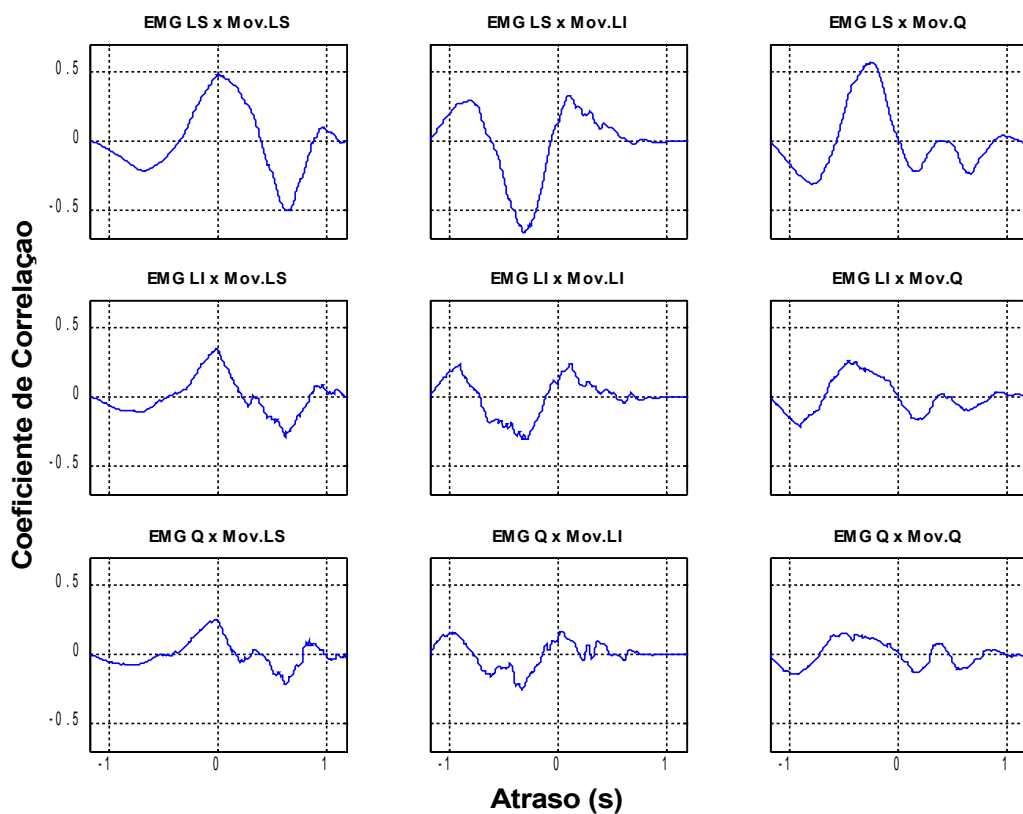


Figura D.3 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /bata/

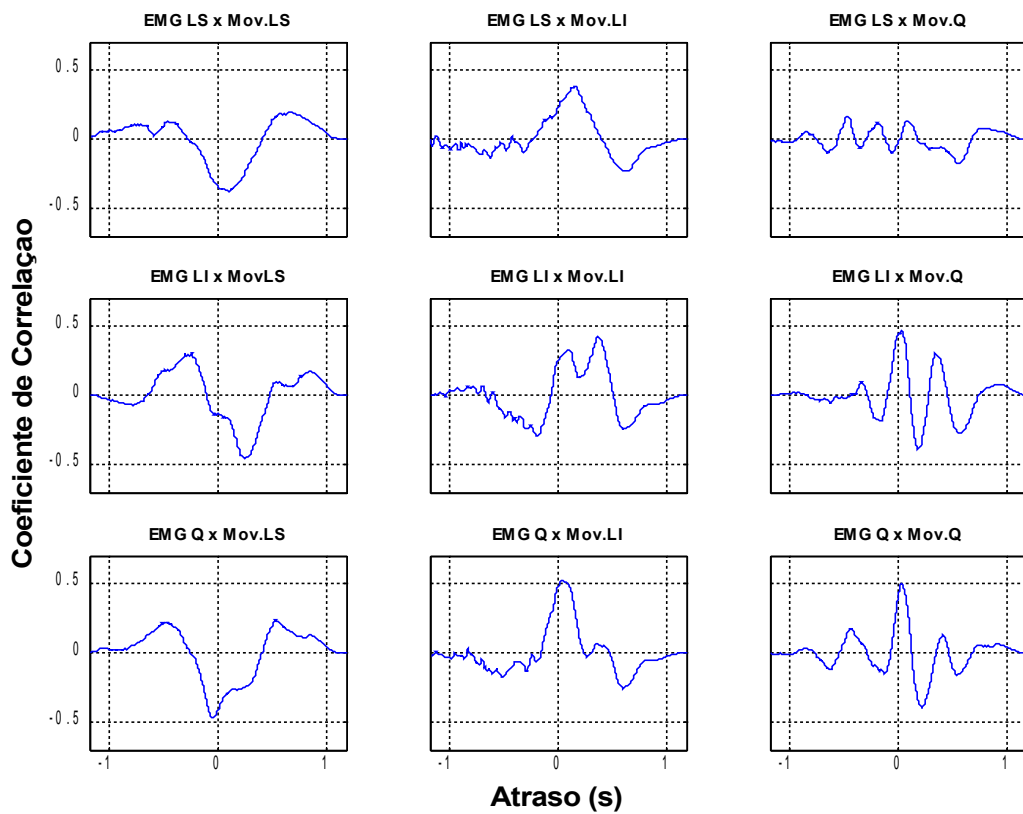


Figura D.4 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /data/

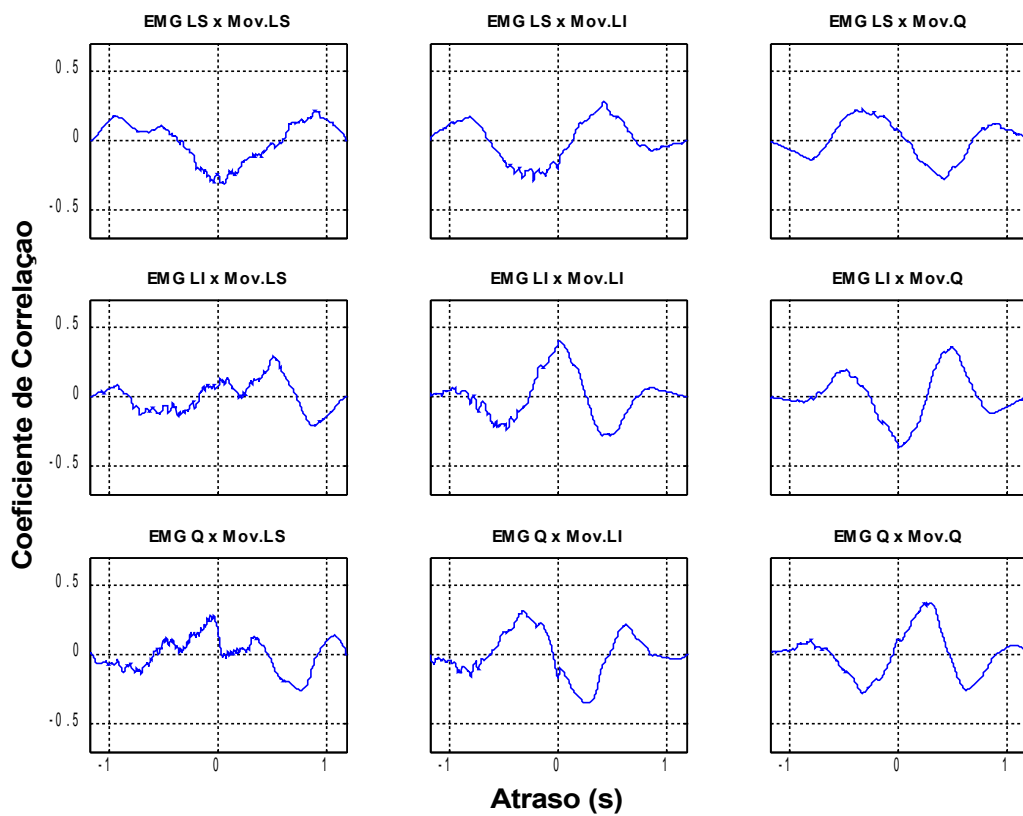


Figura D.5 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /tato/

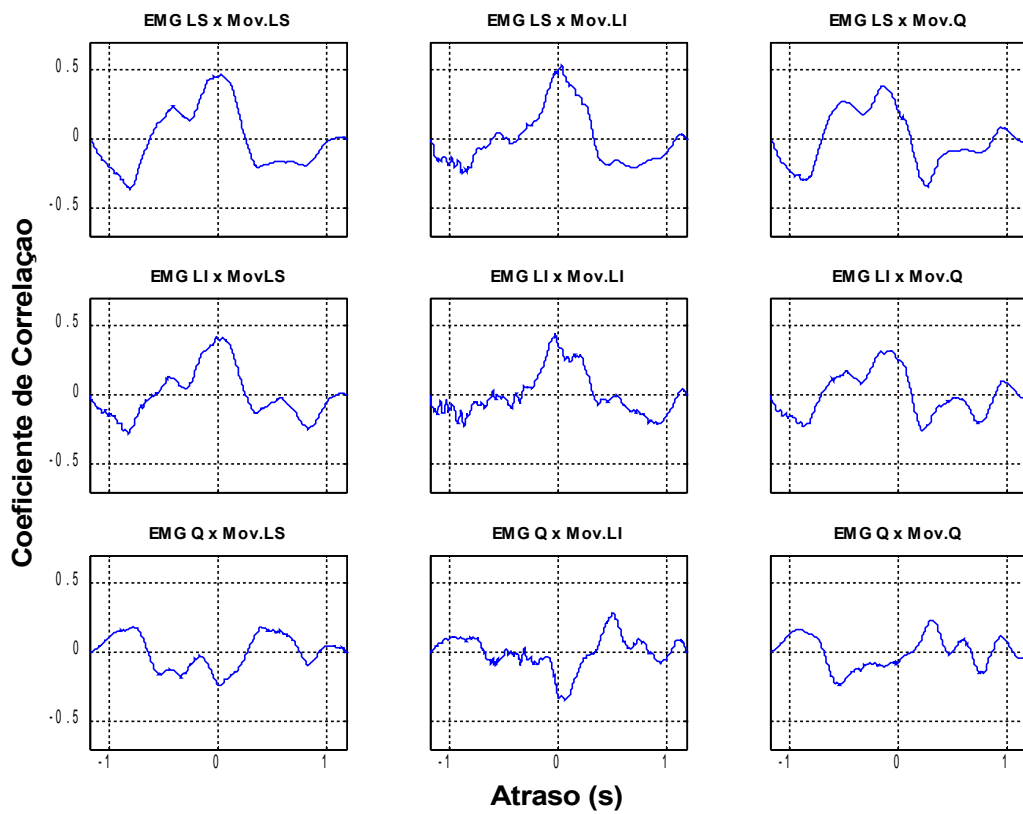


Figura D.6 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /gato/

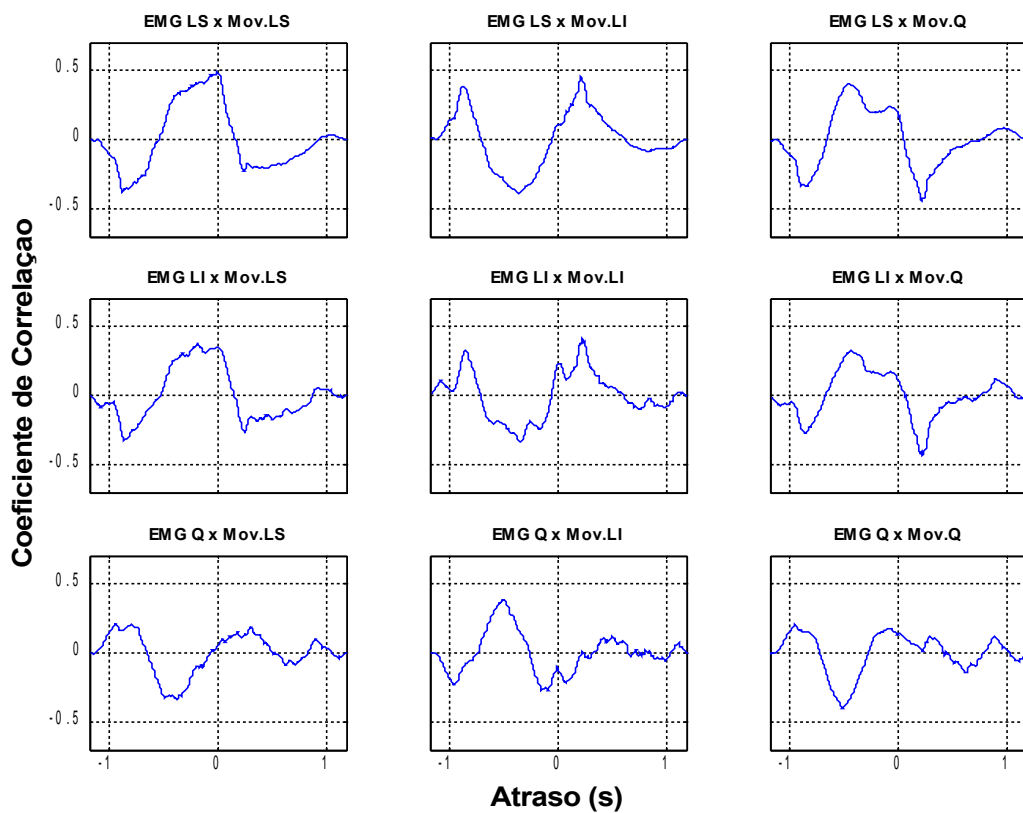


Figura D.7 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /caco/

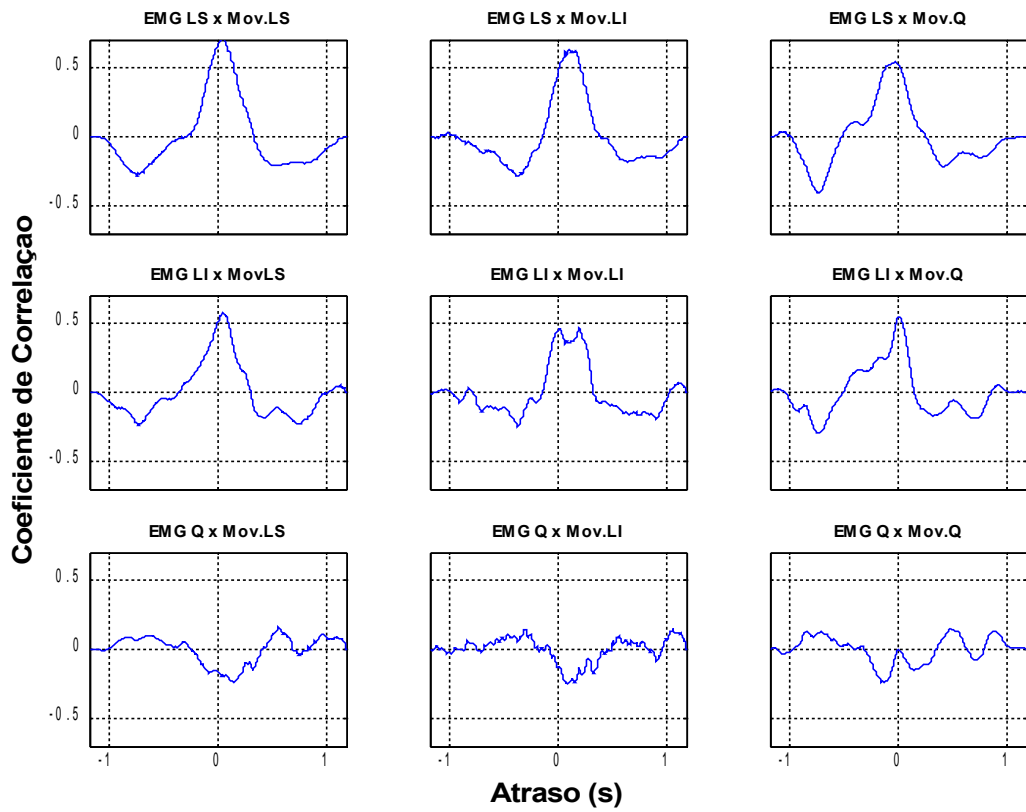


Figura D.8 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /saco/

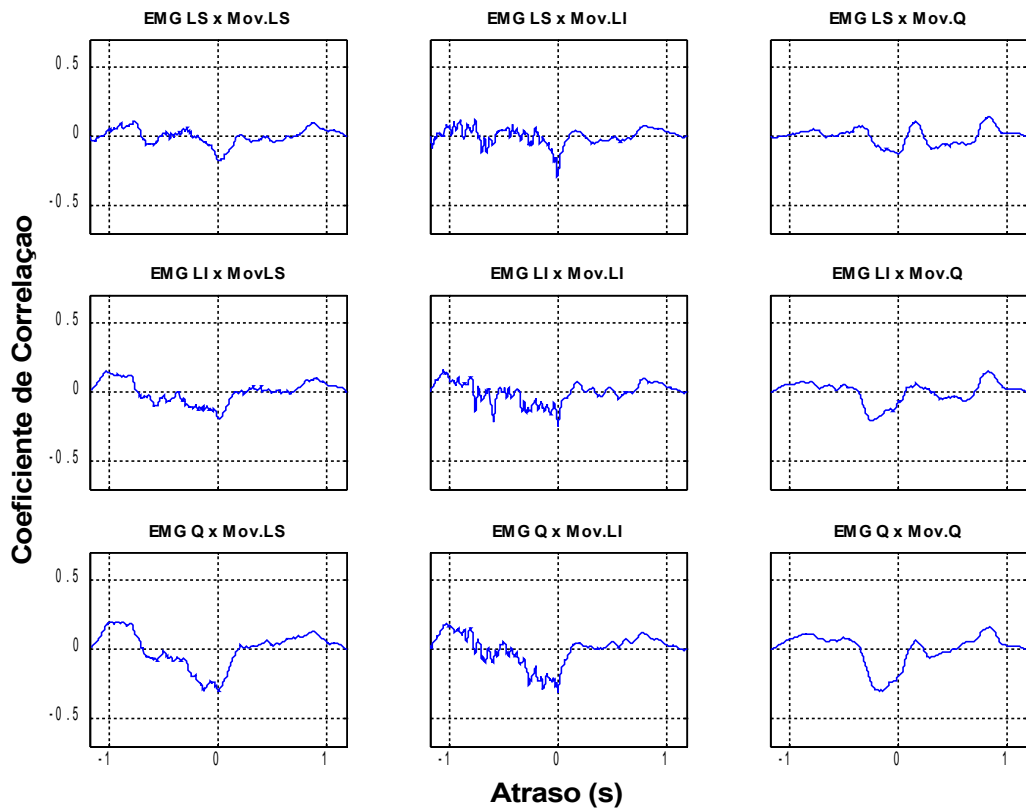


Figura D.9 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /zaga/

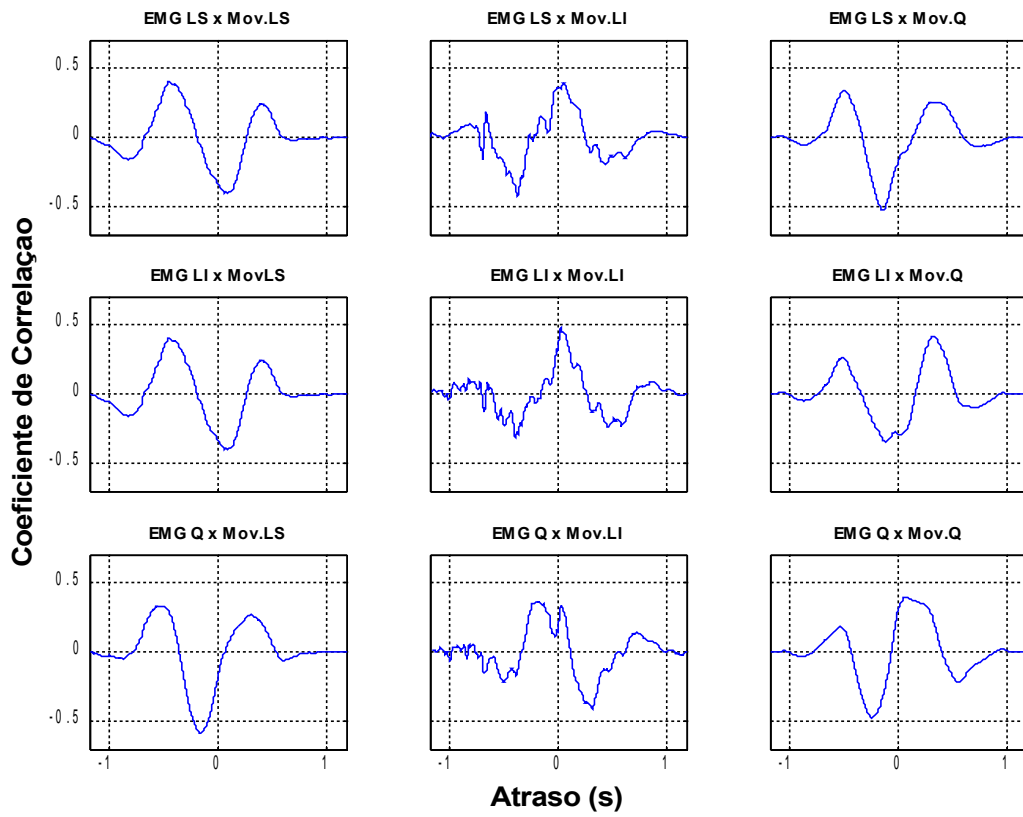


Figura D.10 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /vaca/

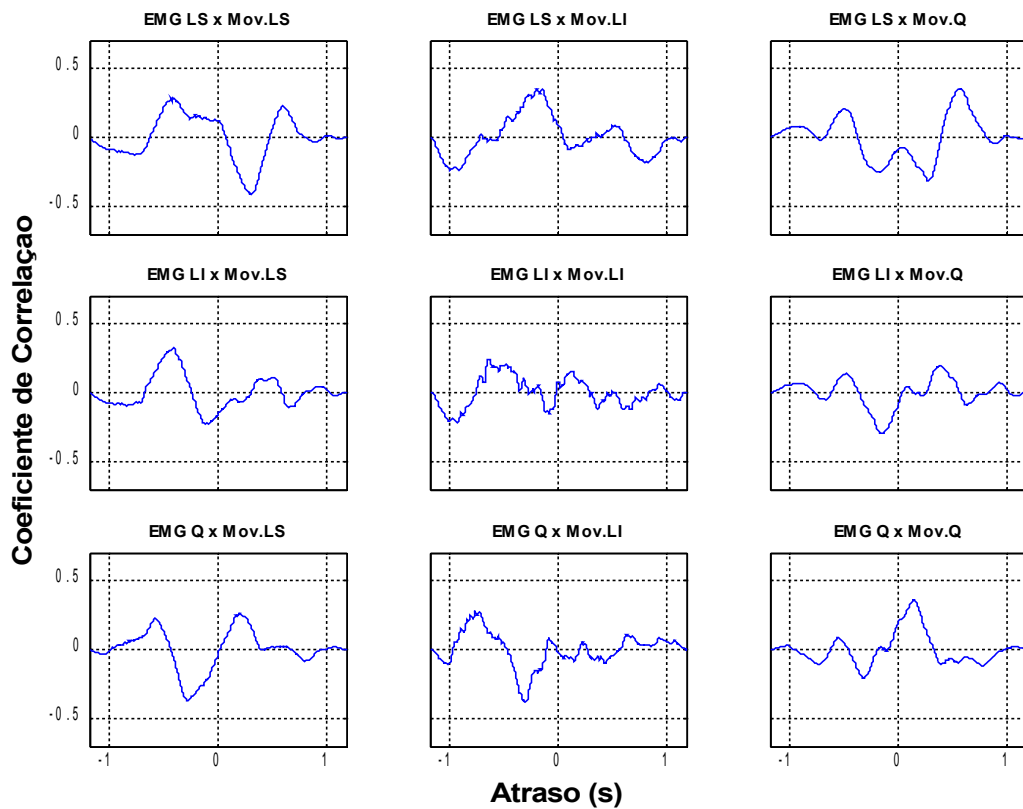


Figura D.11 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /faca/

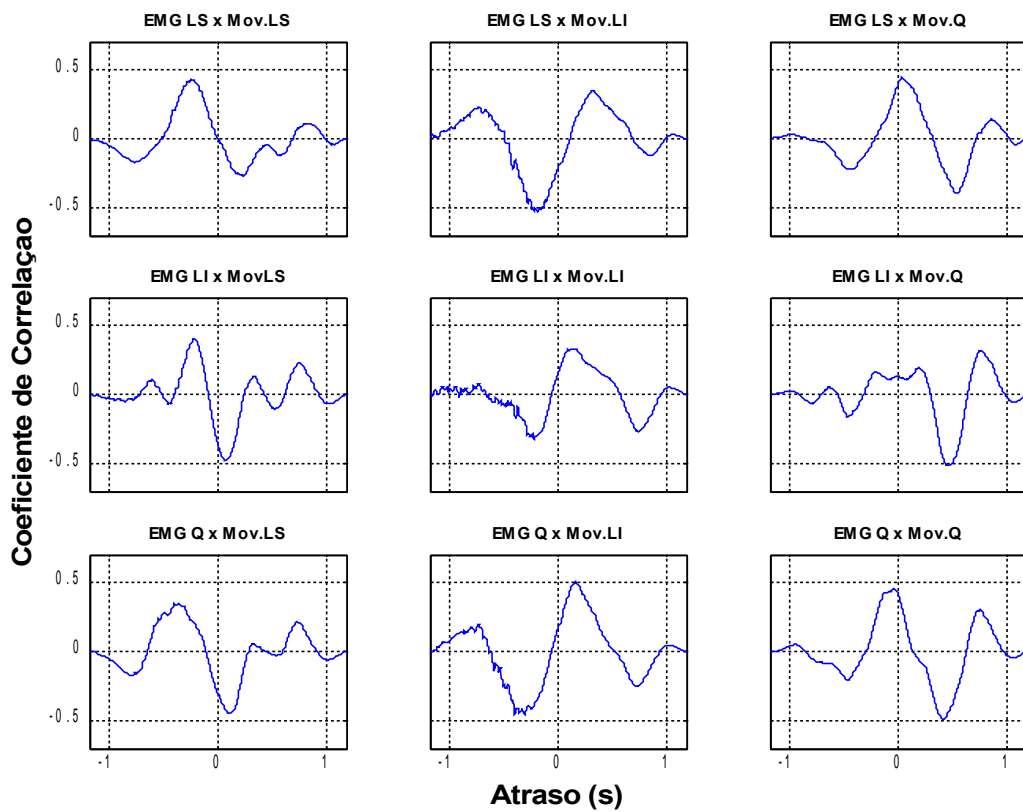


Figura D.12 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /jato/

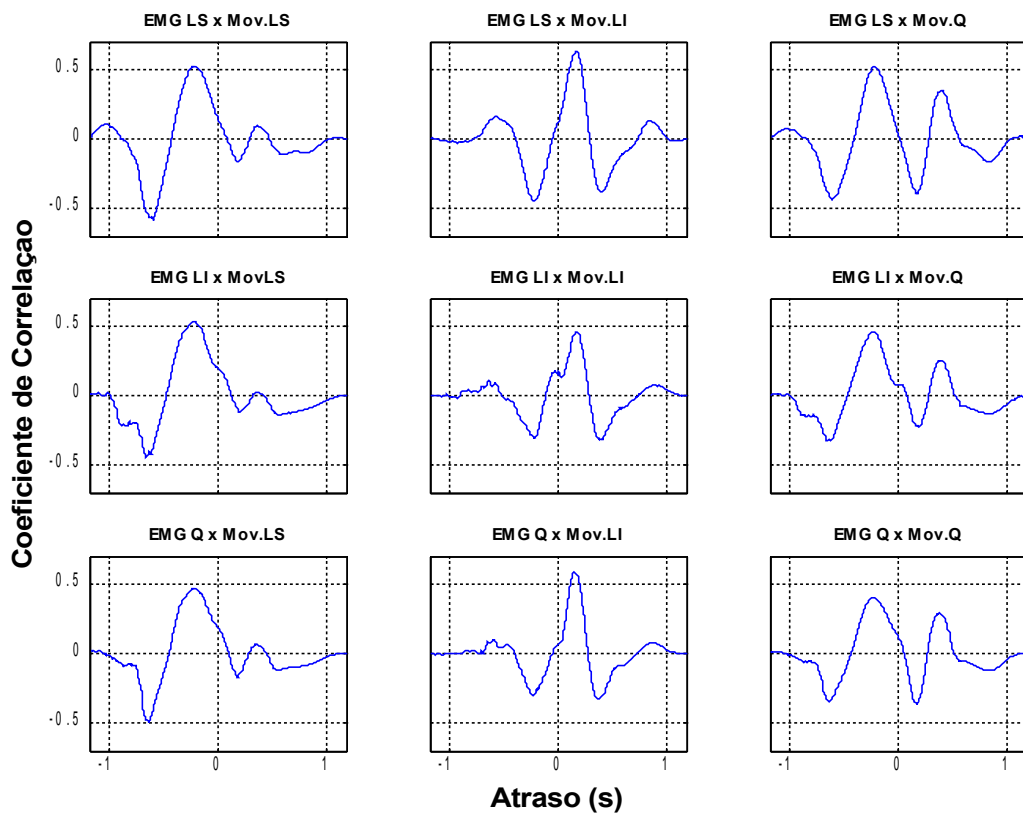


Figura D.13 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /tampar/

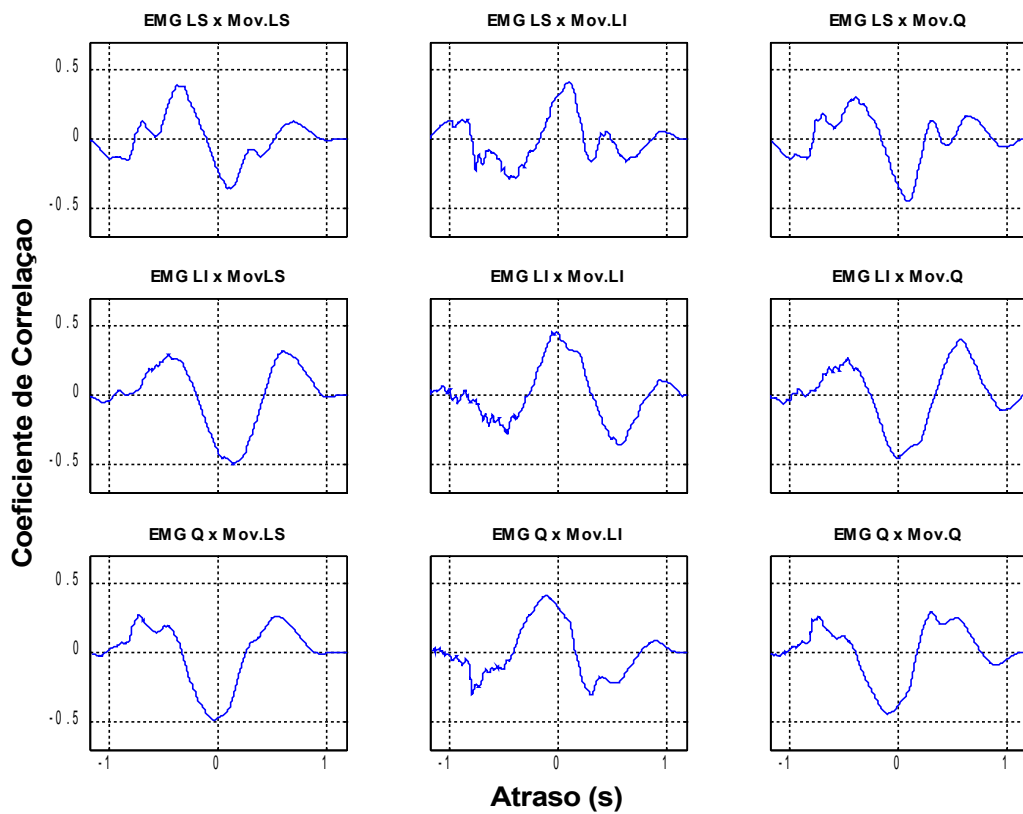


Figura D.14 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /fubá/

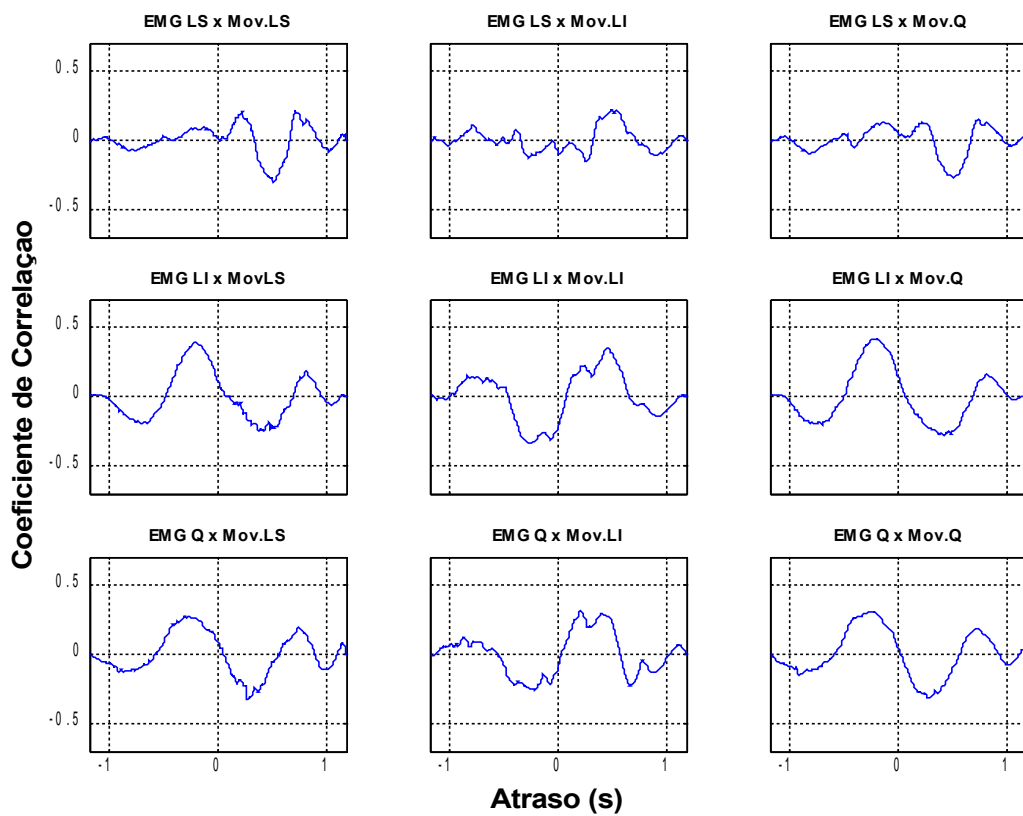


Figura D.15 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /andar/

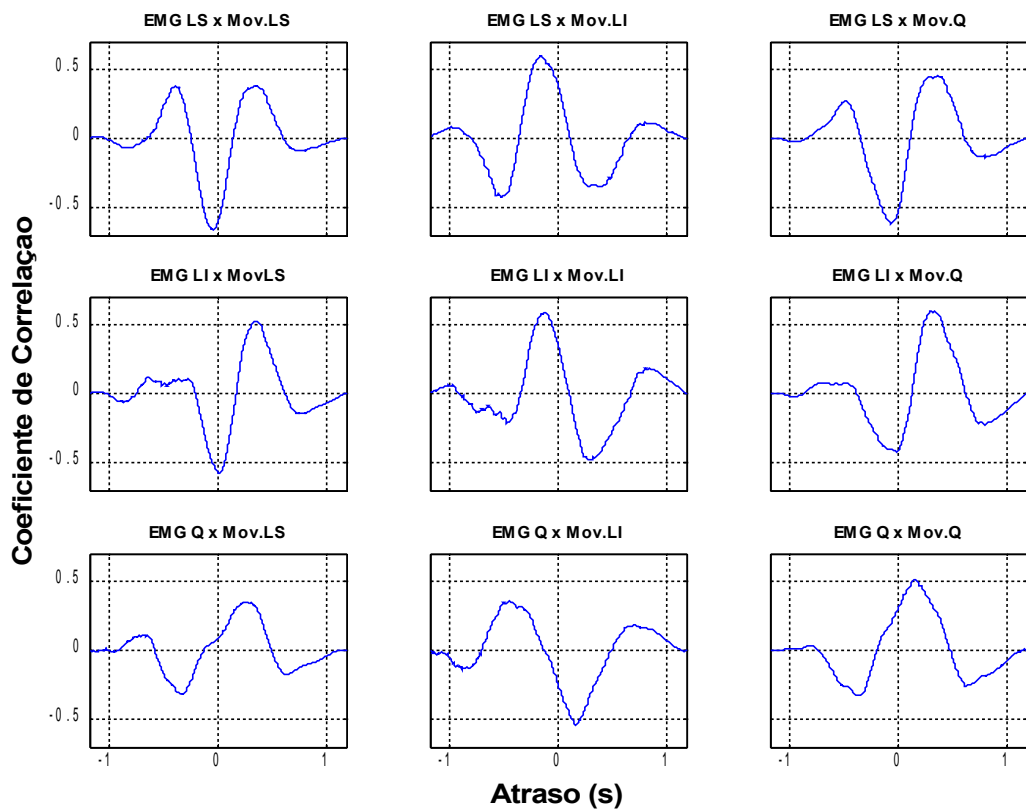


Figura D.16 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /cortar/

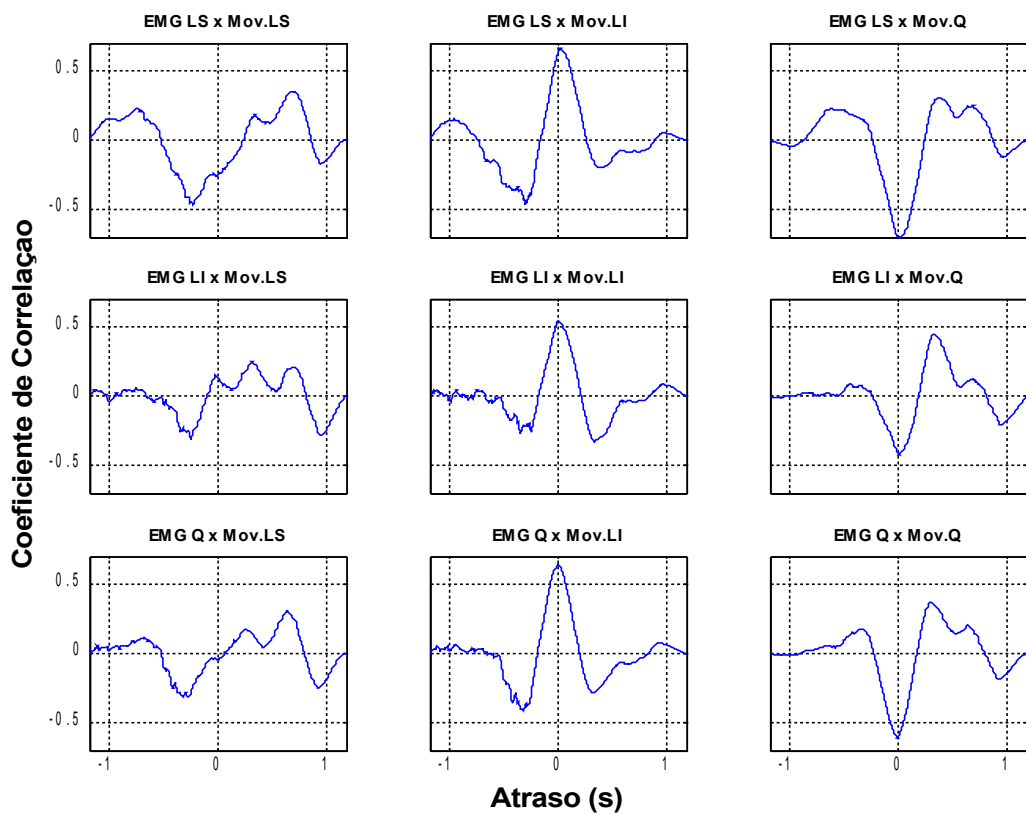


Figura D.17 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /pagar/

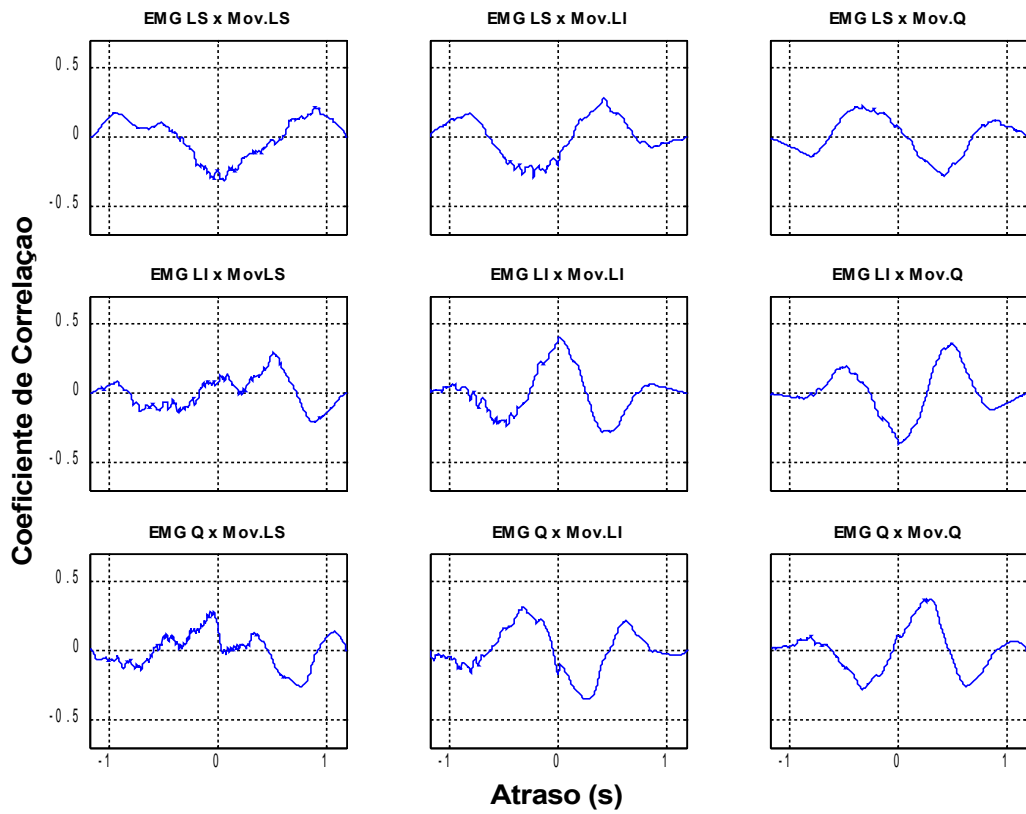


Figura D.18 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /tocar/

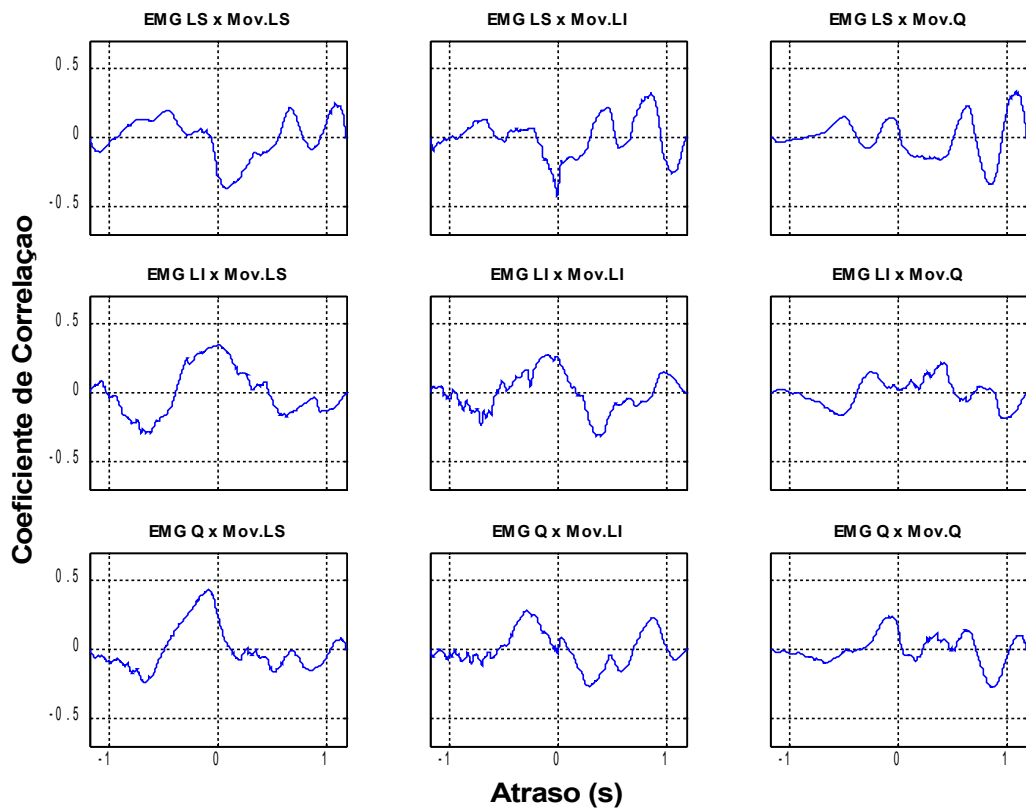


Figura D.19 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /caçar/

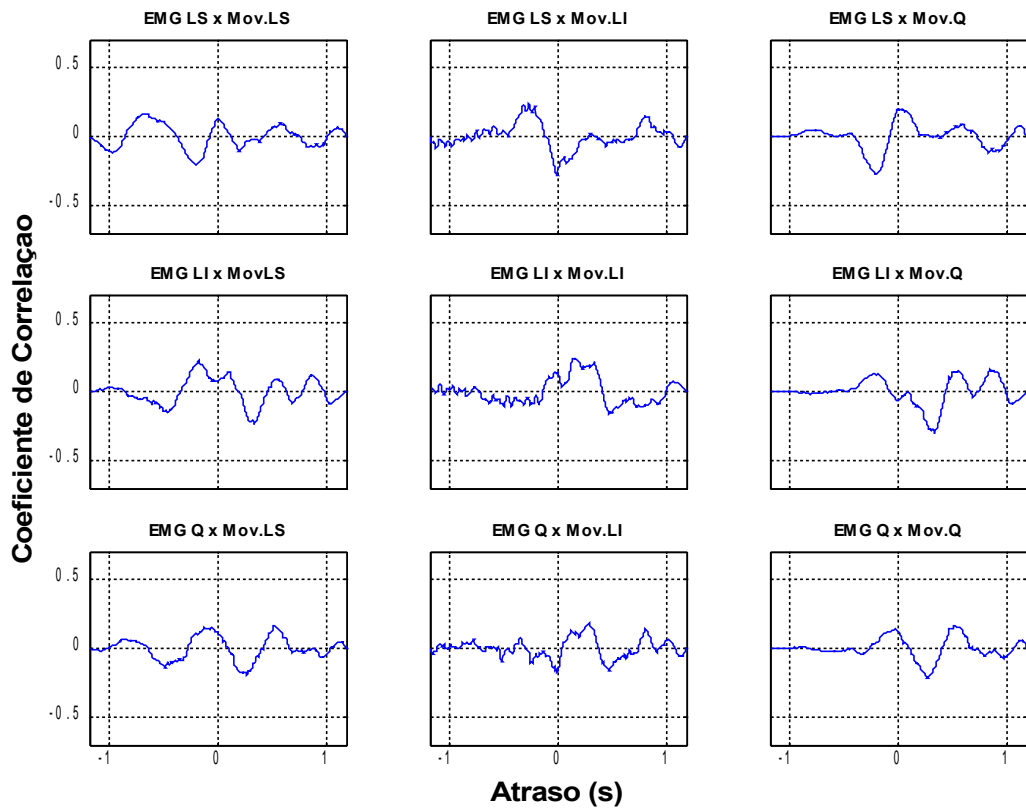


Figura D.20 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /casar/

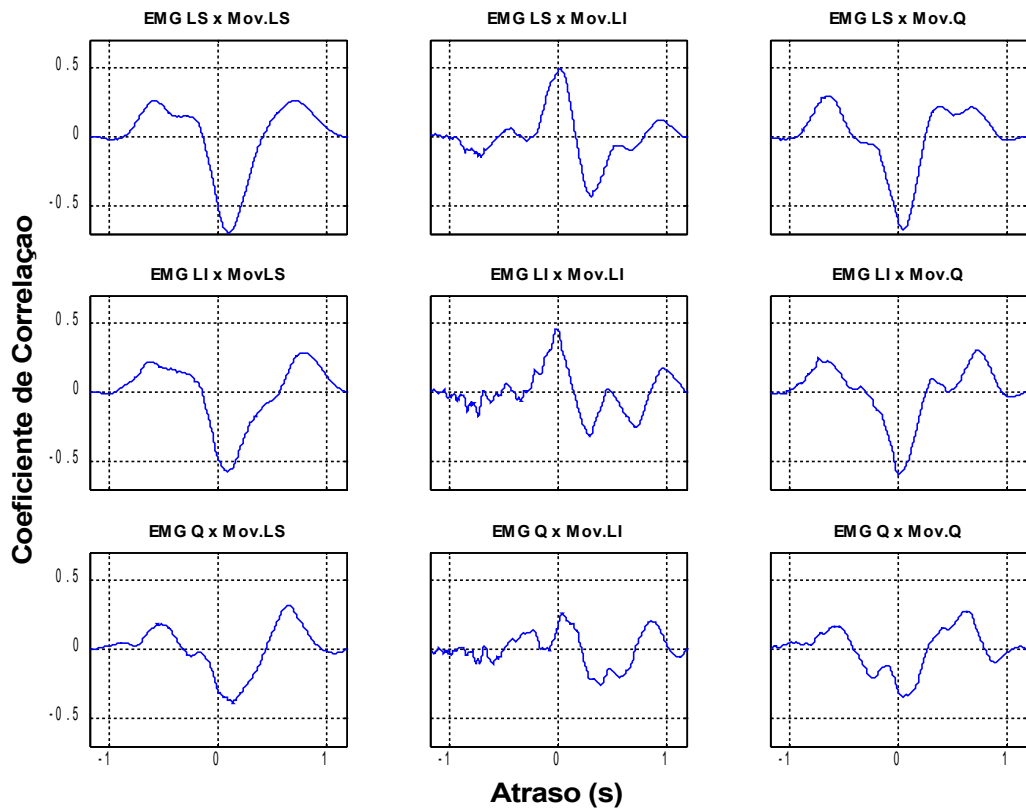


Figura D.21 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /cavar/

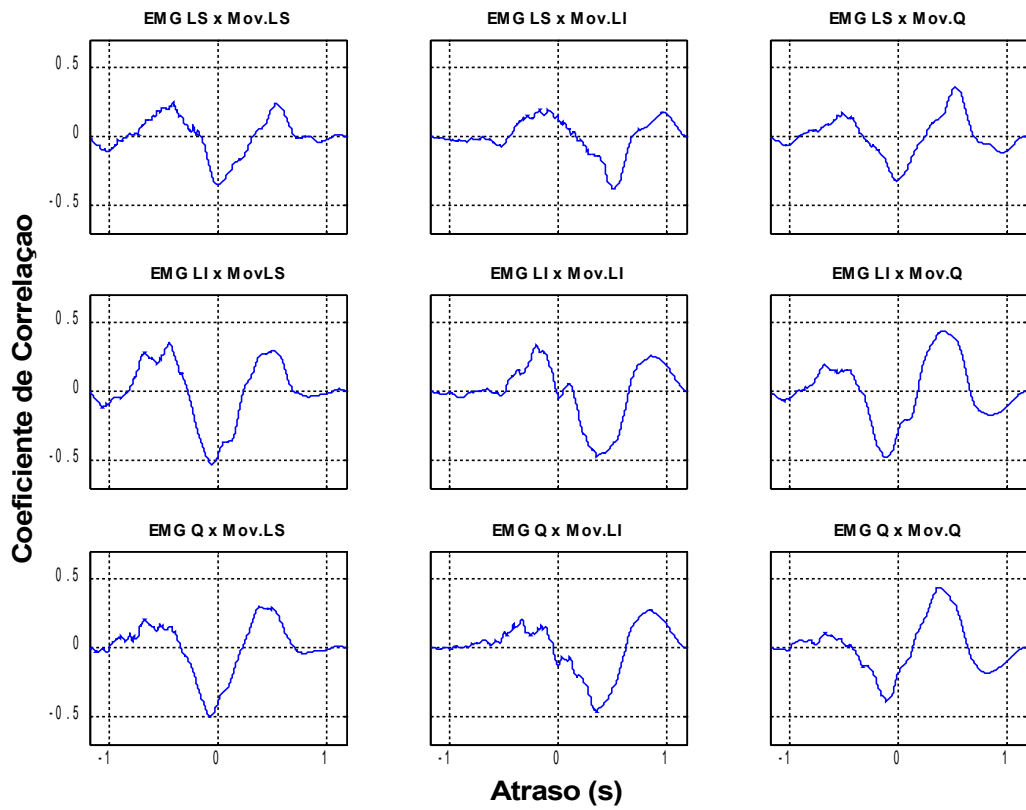


Figura D.22 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /sofá/

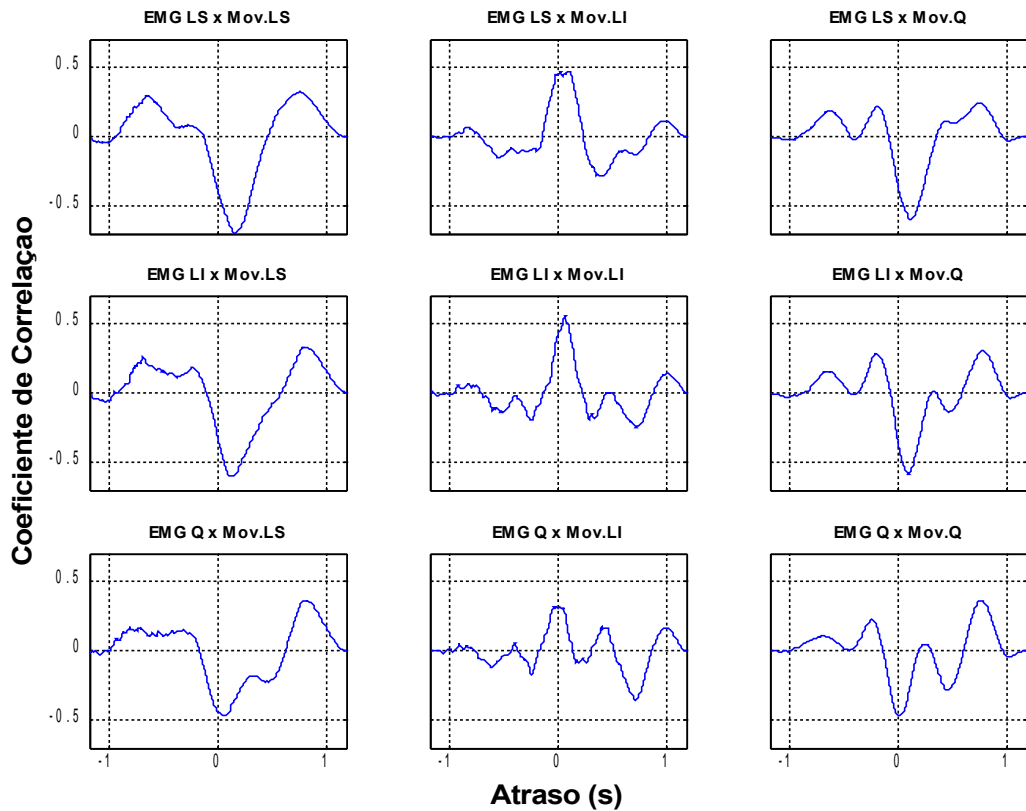


Figura D.23 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /cajá/

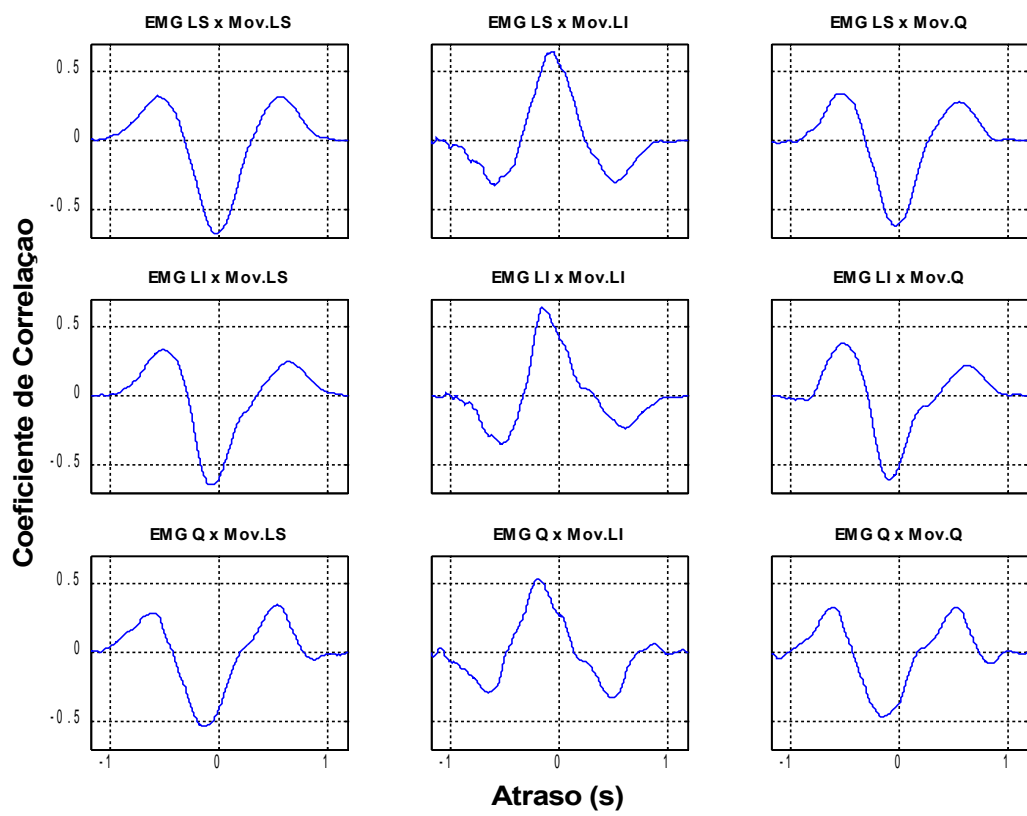


Figura D.24 Correlação entre a atividade eletromiográfica e o movimento facial – palavra /achar/