

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

EDIVALDO VAZ DE ANDRADE

**O USO DO ACELERÔMETRO DE UM *SMARTPHONE* PARA
CAPTAÇÃO E ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES DA ARTICULAÇÃO
*TEMPOROMANDIBULAR***

DISSERTAÇÃO

ENGENHARIA BIOMÉDICA

CURITIBA

2017

EDIVALDO VAZ DE ANDRADE

**O USO DO ACELERÔMETRO DE UM *SMARTPHONE* PARA
CAPTAÇÃO E ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES DA ARTICULAÇÃO
TEMPOROMANDIBULAR**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Biomédica pela Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Bertoldo Schneider Junior

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

A553u
2017 Andrade, Edivaldo Vaz de
 O uso do acelerômetro de um smartphone para captação
 e análise das vibrações da articulação temporomandibular / Edivaldo Vaz de Andrade.-- 2017.
 65 f. : il. ; 30 cm

 Texto em português com resumo em inglês
 Disponível também via World Wide Web
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, Curitiba, 2017
 Bibliografia: f. 61-65

 1. Articulação temporomandibular – Doenças. 2. Arcada dentária. 3. Mandíbula. 4. Articulação temporomandibular – Doenças – Diagnóstico. 5. Smartphones – Uso em diagnóstico. 6. Acelerômetros. 7. Pesquisa odontológica. 8. Maloclusão. 9. Engenharia biomédica – Dissertações. I. Schneider Junior, Bertoldo. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 610.28

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário : Adriano Lopes CRB9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 93

A Dissertação de Mestrado intitulada “O uso do acelerômetro de um smartphone para captação e análise das vibrações da articulação temporomandibular”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Edivaldo Vaz de Andrade, no dia 18 de agosto de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração Engenharia Biomédica, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

BANCA EXAMINADORA:

Bertoldo Schneider Junior, Dr – UTFPR

Daniel Bonotto, Dr – UFPR

André Eugenio Lazzaretti, Dr – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e Assinatura do (a) Coordenador (a) do Programa

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Leontino e Celeste, cujos bons exemplos são minha inspiração.

À minha mulher, Angélica, sempre ao meu lado.

Aos meus filhos Frederico e Alice, minha contribuição para um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ter me dado o privilégio de conhecer pessoas muito melhores do que eu, cada uma em sua área de atuação. Aproveitei cada minuto do talento e *expertise* de cada uma delas.

Prof. Dr. Bertoldo Schneider Junior, meu distinto Orientador.

Prof. Dr. Sergio Francisco Pichorim, sua grandeza como professor honra o exercício da docência e inspira ao exercício desse nobre ofício.

Prof. Dra. Leandra Ulbricht, abrindo caminhos nos lugares mais difíceis.

Prof. Dra. Leyza Dorini, sua contribuição vai do início ao fim deste trabalho.

Prof. Dr. Vicente Machado Neto, sempre pronto a estender a mão, não importando dia ou hora.

Prof. Dr. Joaquim Miguel Maia, a seriedade com que conduz sua profissão o faz digno das melhores referências em sua área.

Ao Maj. Dentista Wallace José Gaspar, companheiro de guerra e grande incentivador.

Ao Engenheiro Gabriel Milani Junior, que através de seu trabalho de Especialização me inspirou a realizar essa pesquisa, deixo minhas elevadas considerações e a certeza de que nada nessa vida é por acaso.

"Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes."

(Isaac Newton)

EPÍGRAFE

Nada é igual ao Seu redor
Tudo se faz no Seu olhar
Todo o universo se formou no Seu falar
Teologia pra explicar
Ou Big Bang pra disfarçar
Pode alguém até duvidar
Sei que há um Deus a me guardar

E eu, tão pequeno e frágil, querendo Sua atenção
No silêncio encontro resposta certa, então
Dono de toda ciência, sabedoria e poder

.....

Antes que o ar já houvesse
Ele já era Deus
Se revelou ao seus
Do crente ao ateu
Ninguém explica Deus...

Música - Ninguém Explica Deus - Preto no Branco

RESUMO

ANDRADE, Edivaldo Vaz de. **O uso do acelerômetro de um *smartphone* para captação e análise das vibrações da articulação temporomandibular**. 2017. 65 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica.

Um dos sinais de Disfunção Temporomandibular é a presença de estalos e ruídos na Articulação Temporomandibular (ATM). Identificar estes sinais é fundamental para estabelecer um correto diagnóstico e assim tratar as alterações patológicas que ocorrem nessa estrutura da face. Antes do início de qualquer tratamento odontológico uma avaliação do estado atual da anatomia relacionada a essa articulação é indispensável. A experiência clínica do examinador através da palpação manual e do uso de um estetoscópio é de grande valia para a realização da anamnese. Quando necessário, exames auxiliares como radiografia panorâmica, ressonância magnética e tomografias são solicitados para aumentar a precisão do diagnóstico. Neste trabalho, foi utilizado o acelerômetro de um *smartphone* para medir as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular em um grupo de 54 pacientes enquanto estes realizavam movimentos de abertura e fechamento da boca e também quando em repouso. Os resultados foram apresentados em gráficos na linha do tempo e em tabelas descritivas. O novo método facilitou a compreensão da dinâmica dos movimentos articulares além de ter se mostrado suficientemente seletivo ao diferenciar indivíduos com articulação normal daqueles que apresentavam estalos nessa estrutura. A técnica mostrou-se válida também como um exame complementar da ATM com as vantagens de ser um exame não invasivo, e não ter emissão de radiação ionizante, além de ser de baixo custo.

PALAVRAS CHAVES: Articulação Temporomandibular, Acelerômetro, Ruídos articulares.

ABSTRACT

ANDRADE, Edivaldo Vaz de. **The use of a smartphone accelerometer for collecting and analysing temporomandibular joint vibrations.** 2017. 65 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica.

One of the signals of temporomandibular disorder is the presence of crack noises in the joint. Identifying these signals is essential to establish a correct diagnosis and thus treat the pathological changes that may occur in this facial structure. Prior to the beginning of any dental treatment, an evaluation of the current joint condition is indispensable. The practitioner's clinical experience through manual palpation and the aid of a stethoscope is of great value for the anamnesis. However, when it is necessary, additional examinations such as panoramic radiography, MRI and CT scans are also required to increase diagnostic accuracy. In this work, the author made use of a *smartphone* accelerometer to measure the vibrations emitted by the Temporomandibular Joint in a group of 54 patients while they performed mouth opening and closing movements as well as when at rest. The results were presented in graphics in the timeline and in descriptive tables. The new method helped forward understanding the articular movements dynamics, besides being sufficiently selective in making a distinction between individuals with normal articulation and those who presented crack in that structure. The technique has also proved to be valid in a complementary examination of TMJ with the following advantages: it is a non-invasive, a non-ionizing radiation, and a low-cost examination.

Keywords: Temporomandibular Joint, Accelerometer, Joint Noises.

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Características Técnicas do Acelerômetro</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 2- Nomenclatura dos sinais.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 3 - Qualificação da amostra estudada.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 4 - Comparação das médias entre os grupos</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 5 - Pacientes com estalos na articulação m/s².....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 6 - Pacientes sem estalos na articulação m/s².....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 7 - Sinais em repouso m/s²</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 8 - Comparação dos sinais estáticos no eixo 'Z' m/s².....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 9 - Variações do sinal no paciente de número quatro.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 10 - Visão comparada de três pacientes em situações distintas</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 11 - Comparação entre dois pacientes que apresentam estalo na ATM</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 12 - Um mesmo paciente provocando o estalo no final da abertura bucal</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 13 - Paciente sem estalos comparado a um outro em repouso.....</i>	<i>56</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Anatomia da Articulação Temporomandibular.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2 - Roteiro para processamento dos biossinais.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3 - Aparelho semelhante ao utilizado para coleta de dados.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4 - Posição do smartphone sobre a face.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5 - Faixa de aplicação dos acelerômetros.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6 - Software para aquisição dos sinais.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7 - Abafador de ruídos semelhante ao utilizado na pesquisa.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8 - Metrônomo semelhante ao que foi utilizado.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9 - Sequência coleta de dados.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10 - Artéria temporal superficial.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11 - Intervalo de confiança entre grupos com e sem estalos.....</i>	<i>57</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 - Exemplo de sinais obtidos na frequência de 60bpm</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 2 - Comparação dos picos dos sinais entre os quatro grupos estudados</i>	<i>39</i>
<i>Gráfico 3 - Comparação das amplitudes dos sinais entre os quatro grupos estudados</i>	<i>39</i>
<i>Gráfico 4 - Picos máximos pacientes com estalos na articulação</i>	<i>40</i>
<i>Gráfico 5 - Picos máximos dos pacientes sem estalos</i>	<i>42</i>
<i>Gráfico 6 - Comparação dos picos entre os pacientes em repouso</i>	<i>44</i>
<i>Gráfico 7 - Comparação dos picos dos sinais estáticos no eixo 'Z'</i>	<i>47</i>
<i>Gráfico 8 - Variação do sinal de um mesmo paciente com estalos na articulação</i>	<i>49</i>
<i>Gráfico 9 - Sobreposição dos três sinais do mesmo paciente</i>	<i>50</i>
<i>Gráfico 10 - Visão geral em uma mesma escala dos três grupos a serem diferenciados</i>	<i>52</i>
<i>Gráfico 11 - Dois sinais mostrando os estalos no tempo</i>	<i>53</i>
<i>Gráfico 12 - Um mesmo paciente provocando o estalo no final do ciclo de abertura da boca</i>	<i>54</i>
<i>Gráfico 13 - Comparação entre indivíduo sem estalos e outro em repouso</i>	<i>56</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Articulação Temporomandibular
DTM	Disfunção Temporomandibular
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
RM	Ressonância Magnética
MRI	Magnetic Resonance Imaging
FFT	Fast Fourier Transform
TMJ	Temporomandibular Joint
CTScan	Computerized Tomography Scan

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Caracterização do problema.....	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Hipótese.....	18
1.4	Objetivos.....	18
1.4.1	Objetivo Geral.....	18
1.4.2	Objetivos Específicos.....	18
1.4.3	Descrição dos tópicos da dissertação.....	19
2	DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1	Revisão Bibliográfica.....	21
2.1.1	A Articulação Temporomandibular.....	21
2.1.2	Patologias da ATM.....	22
2.1.3	DTM articular com suas respectivas subdivisões.....	23
2.1.4	DTM muscular.....	23
2.1.5	Exames para diagnóstico das patologias da ATM.....	23
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Comitê de Ética / Consentimento Informado.....	25
3.2	Avaliação da presença de estalos.....	25
3.3	Critérios de exclusão da pesquisa.....	26
3.4	Benefícios para o pesquisado.....	26
3.5	Riscos para o pesquisado.....	26
3.6	Aquisição dos bioassinais.....	27
3.7	Informações do <i>smartphone</i>	27
3.8	Informações do acelerômetro interno do aparelho.....	28
3.9	Informações do <i>Software</i>	30
3.10	Informações do abafador de ruídos.....	30
3.11	Informações do metrônomo.....	31
3.12	Terminologia.....	32
3.13	Roteiro para coleta de dados.....	33
3.14	Sequência de medição.....	34
3.15	Padronização da nomenclatura do sinal.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	Sumário dos dados.....	38

4.2	Comparação entre os quatro grupos estudados	38
4.3	Gráfico dos pacientes com estalos na articulação	40
4.4	Tabela dos pacientes com estalos na articulação	41
4.5	Gráfico dos pacientes sem estalos na articulação	42
4.6	Tabela dos pacientes sem estalos na articulação	43
4.7	Gráfico dos pacientes em repouso	44
4.8	Tabela dos pacientes em repouso.....	45
4.9	Medidas de controle com o aparelho estático	47
4.10	Tabela com os dados do aparelho estático	48
4.11	Variações entre as três amostras de um mesmo paciente.....	49
4.12	Estudo gráfico dos sinais no espectro do tempo	51
4.13	Comparação do intervalo de confiança entre dois grupos.	57
5	CONCLUSÃO.....	59
5.1	Trabalhos Futuros.....	60
6	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O ruído articular é um dos sinais da Disfunção Temporomandibular e sua identificação é importante para estabelecer um correto diagnóstico de mudanças patológicas que podem ocorrer nessa estrutura. Sabe-se que o ruído articular pode manifestar-se desde a infância e é muito mais comum em mulheres do que em homens. O deslocamento do disco articular com redução é a forma mais prevalente desta doença (BRITO; CARINHENAS, 2010)(FERREIRA, FLÁVIO BASÍLIO *et al.*, 2012). A forma como a doença afeta a qualidade de vida varia individualmente, indo desde uma limitação temporária para abrir a boca até dores moderadas e fortes que incapacitam o indivíduo para suas atividades diárias como trabalhar, estudar e fazer suas refeições (BUSANELLO-STELLA *et al.*, 2011), (MOTTA *et al.*, 2015).

Antes do início de qualquer tratamento odontológico é de extrema importância que o profissional realize uma avaliação do estado atual das estruturas relacionadas à ATM - Articulação Temporomandibular. Para esse exame vale-se muito da experiência clínica do examinador através da palpação manual e do uso eventual de um estetoscópio. Quando informações adicionais são necessárias, exames auxiliares como radiografia panorâmica, ressonância magnética, artrografia, entre outros, são solicitados para melhorar a confiabilidade do diagnóstico (PARK *et al.*, 2011).

Os acelerômetros são exemplos de transdutores que medem aceleração em um ou mais eixos. Devido a sua grande precisão para obtenção de dados ligados a movimentos e vibrações, além de baixo custo e facilidade de uso, os acelerômetros são largamente utilizados em pesquisas. Desde a indústria automotiva passando pela engenharia aeronáutica e também ciências da saúde, eles estão presentes em nosso cotidiano e muitas vezes não nos apercebemos disso. É o caso por exemplo dos acelerômetros inseridos nos *smartphones*, dispositivos amplamente disponíveis

para uso geral (ANDRADE, 2007)(ALMEIDA, 2012)(FARIA, 2012)(VIEIRA; AGUIAR, 2013) .

Devido ao grande potencial de aplicação dessa ferramenta nas engenharias este trabalho se propõe a analisar as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular durante os movimentos de abertura e fechamento da boca usando o acelerômetro presente em um *smartphone*.

Enquanto os exames de imagem como ressonância magnética, tomografia e Raio X nos permitem visualizar as estruturas da articulação o estetoscópio mesmo que impreciso, é útil na pesquisa inicial. A exemplo do cardiologista que recorre a um eletrocardiograma para ver detalhes dos achados na auscultação cardíaca, a proposta do uso do acelerômetro permitirá medir a articulação e seus ruídos com o objetivo de diferenciá-los e melhor acompanhar sua evolução.

O objetivo não é substituir os exames tradicionais da prática clínica, mas complementá-los, tendo como vantagem ser este um procedimento não invasivo, não emissor de radiação além de ser acessível e de baixo custo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A maioria das atividades humanas envolve vibração nas suas mais variadas formas, desde nossos tímpanos que vibram quando ouvimos até nosso corpo quando nos deslocamos. Olhando por seu lado negativo as vibrações quando transmitidas pelas máquinas ao corpo humano podem causar desconforto e perda de eficiência, mas por outro ângulo, existem equipamentos que utilizam os movimentos vibratórios para seu funcionamento como as escovas de dentes as brocas odontológicas e os aparelhos de ultrassom. Em todas as situações a estrutura ou componentes das máquinas sujeitas a vibrações podem falhar. Seja devido à fadiga do material ou às tensões induzidas, elas podem levar a desgastes, ruídos excessivos e falhas nos elementos de fixação (SINGIRESU, 2008).

Através da análise dos espectros de vibrações mecânicas produzidas por máquinas industriais é perfeitamente possível identificar e prever seus modos de

falha. Considerando que todas as máquinas possuem uma vibração natural, os acréscimos ou desvios dessa frequência são utilizados pela engenharia de confiabilidade para prever possíveis defeitos mecânicos e para antecipar-se às quebras e consequentes paradas desnecessárias dos equipamentos. Torna-se importante nesses casos conhecer as vibrações naturais e tanto quanto possível suas variações para se estabelecer um correto diagnóstico (MILANI JUNIOR, 2012) (RODRIGUES, 2014).

A Articulação Temporomandibular é formada por dois centros de rotação que estão localizados um em cada lado da face em frente ao ouvido. Ela nos possibilita realizar os movimentos necessários para a fala e a alimentação. Anatomicamente é constituída por ossos, músculos e ligamentos e, devido ao atrito e ao deslocamento de líquidos no interior da cápsula articular, essa região produz sons e vibrações quando em movimento (VELAYOS, 2004).

Como todos os sistemas mecânicos, com o passar do tempo essa articulação sofre desgastes e adaptações que podem levar ao aparecimento de patologias que se apresentam como ruídos estalos e crepitações. Nem sempre a presença desses sinais representa um problema para o paciente, mas existem aqueles que procuram os profissionais da saúde para encontrar respostas para essas alterações (OKESON, 1998). O uso deste dispositivo eletromecânico já amplamente aplicado na área biomédica surge nesse trabalho como uma opção para se avaliar os movimentos fisiológicos e patológicos dessa estrutura da face (ALMEIDA, 2012) (MUNIZ; ANDRADE, 2012). A realização desta tarefa possibilitará diferenciar os ruídos e também parametrizá-los permitindo seu acompanhamento ao longo do tratamento. Justifica-se também o emprego dessa tecnologia como exame complementar e como ferramenta para futuras pesquisas.

1.3 HIPÓTESE

É possível utilizar o acelerômetro de um *smartphone* Motorola Moto G3 com sistema Android versão 5.1.1. para medir as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular durante os movimentos de abertura e fechamento da boca.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular durante os movimentos de abertura e fechamento da boca usando o acelerômetro de um *smartphone* Motorola Moto G3 com sistema Android versão 5.1.1.

1.4.2 Objetivos Específicos

Medir as vibrações da articulação em um grupo de pacientes saudáveis.

Medir as vibrações da articulação em um grupo de pacientes com estalos na articulação.

Medir os sinais em repouso de todos os pacientes.

Medir os sinais com o aparelho em posição estática.

Identificar o comportamento do eixo Z do acelerômetro entre os vários grupos estudados.

Demonstrar que as informações obtidas acrescentam conteúdo relevante ao conjunto de exames existentes a ponto de justificar seu uso clínico.

1.4.3 Descrição dos tópicos da dissertação

O capítulo 1 contém a introdução do trabalho e discorre sobre a caracterização do problema dos ruídos da Articulação Temporomandibular apresentando em seguida uma justificativa para o uso do dispositivo eletromecânico como um auxiliar na avaliação de patologias dessa estrutura da face.

Contém ainda a hipótese de que é possível utilizar o acelerômetro de um *smartphone* para medir as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular durante os movimentos de abertura e fechamento da boca; o objetivo geral de analisar as vibrações emitidas durante estes movimentos e ainda apresenta os objetivos específicos de medição e análise das informações obtidas.

O desenvolvimento do trabalho no capítulo 2 faz uma breve revisão bibliográfica sobre a ATM, suas patologias e os exames que servem para diagnosticar tais patologias.

A metodologia usada juntamente com a informação de que o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisas envolvendo seres humanos estão presentes no capítulo 3, assim como a descrição de como foi feita a avaliação da presença de estalos, os critérios de exclusão da pesquisa, os benefícios e riscos para os pesquisados. Além disso constam nesse capítulo como foi feita a aquisição de bio-sinais, as informações do aparelho utilizado e do dispositivo interno do aparelho bem como as informações do *software* utilizado. Ainda temos as informações do abafador de ruídos e do metrônomo utilizados como coadjuvantes na captação dos sinais emitidos. A terminologia, o roteiro para coleta de dados, a sequência de medição e a padronização da nomenclatura do sinal fecham o capítulo e abrem sequência para os resultados obtidos na pesquisa.

O quarto capítulo mostra os resultados e a discussão, o sumário de dados e a comparação entre os grupos estudados. Segue-se então uma série de gráficos e tabelas de pacientes com e sem estalo na articulação, pacientes em repouso, medidas de controle com o aparelho estático e demais estudos gráficos de comparações. O próximo capítulo compreende a conclusão do trabalho mostrando a viabilidade da hipótese levantada e as perspectivas para futuras pesquisas de

aprofundamento do método. No capítulo 6 as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa fecham o trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 A Articulação Temporomandibular

A Figura 1 abaixo mostra a Articulação Temporomandibular, doravante também chamada de ATM, é uma articulação que relaciona a cabeça da mandíbula com o osso temporal. A zona articular correspondente no osso temporal, tem a forma côncava e é chamada de fossa mandibular. Entre as duas superfícies articulares encontra-se o disco articular que é uma estrutura de natureza fibrosa e trabalha em sincronia com a cabeça da mandíbula. A face inferior do disco é côncava sendo mais espessa na periferia (3 a 4 mm) e delgada na sua região central (1 a 2 mm). Envolvendo essas estruturas encontram-se a cápsula articular, vasos sanguíneos, ligamentos, músculos e nervos sensitivos e motores (VELAYOS, 2004).

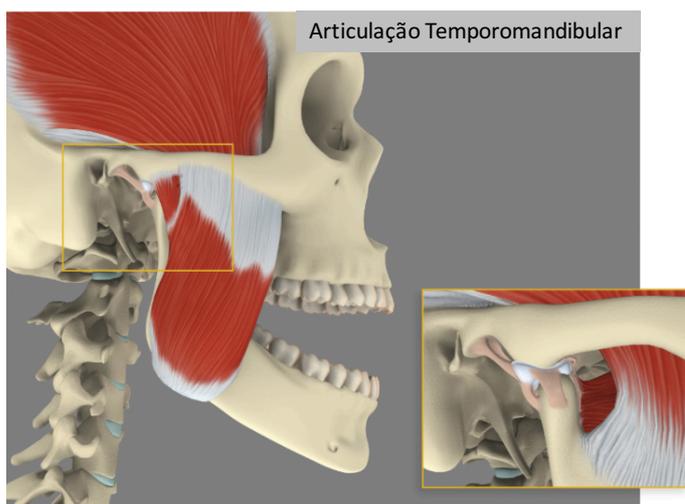


Figura 1 - Anatomia da Articulação Temporomandibular

Fonte: www.telemedicina.fm.usp.br

Os movimentos básicos da articulação podem ser resumidos em abertura e fechamento. Movimentos mais complexos também são encontrados como para frente para trás e para os lados. Esse complexo sistema de movimentos atua de forma coordenada durante a mastigação, fala, respiração e deglutição (OKESON, 1992).

2.1.2 Patologias da ATM

A Disfunção Temporomandibular (DTM) refere-se a várias doenças que podem acometer a ATM tanto em nível ósseo como articular. De uma forma ampla, as patologias podem ser intracapsulares, isto é, afetam ligamentos, cabeça da mandíbula e disco articular, ou extracapsulares, com alterações no sistema muscular responsável pelo movimento da mandíbula. Outra fonte possível de patologias nessa estrutura são as enfermidades orgânicas como anquilose, traumas, luxações e neoplasias benignas ou malignas (VELAYOS, 2004).

O ruído articular é somente um dos sinais das DTMs e estudos mostram forte associação entre bruxismo e ruídos articulares inclusive entre crianças (MOTTA *et al.*, 2015), sendo que o gênero feminino sempre está destacado nos achados científicos como o que apresenta a maior prevalência das DTM na proporção de até 4:1. (FERREIRA, CLAUDIA LÚCIA PIMENTA; ET AL., 2016).

Os ruídos podem ser classificados em simples, no caso dos estalidos ou múltiplos, quando se apresentam como crepitação. Os mesmos podem ocorrer tanto na abertura como no fechamento mandibular. Estágios adiantados de Disfunção Temporomandibular, como as doenças degenerativas, podem apresentar crepitação como um dos seus sinais (FARSI, 2003).

Os estalos na articulação, em sua maioria, resultam do impacto do côndilo mandibular contra o componente temporal da ATM após a sua passagem pela parte posterior do disco articular. Na ausência de outros sinais e sintomas os estalos podem ser considerados uma condição benigna que não evolui para doenças mais sérias, mesmo a longo prazo (OKESON, 1992).

Para a Academia Americana de Dor Orofacial, Disfunção Temporomandibular é definida como um conjunto de distúrbios que envolvem os músculos mastigatórios, a Articulação Temporomandibular e estruturas associadas como os ligamentos e os tendões. A mesma entidade estabeleceu na quarta edição de seu manual, novas diretrizes para o diagnóstico e classificação das diferentes formas de DTM. Dois grupos são descritos (LEEuw, 2010).

2.1.3 DTM articular com suas respectivas subdivisões

Desordens do desarranjo do disco: deslocamento do disco com redução, deslocamento do disco sem redução.

Deslocamentos da ATM.

Desordens inflamatórias: sinovite, capsulite, poliartrite.

Desordens não inflamatórias: osteoartrite primária, osteoartrite secundária, anquilose, fraturas.

2.1.4 DTM muscular

Mialgia local, dor miofascial, mialgia mediada centralmente, mioespasmos, miosite, contratura miofibrótica, neoplasias.

2.1.5 Exames para diagnóstico das patologias da ATM

Vários exames como raio X panorâmico, tomografia e ultrassom são utilizados para diagnóstico das patologias da ATM, mas o exame de eleição é a Ressonância Magnética, também chamada de RM, pois proporciona avaliação tridimensional e elevada resolução espacial. Essa tecnologia permite que o exame

seja não invasivo e faculta a possibilidade de visualização da posição e condição morfológica do disco, fornecendo imagens mais detalhadas, tanto de tecidos duros quanto moles. A RM não só exhibe o disco, como também diferencia o córtex, medula, cartilagem hialina, músculo, fluido e tecido fibroso (COSTA, ANDRE LUIZ; SHIBASAKI, 2015).

Quando se trata de ruídos da articulação, outros exames já foram utilizados. Por exemplo um microfone colocado sobre a região da articulação ou mesmo dentro do conduto auricular possibilitou entender as frequências e as intensidades dos estalos, embora essa forma seja sensível aos sons do ambiente externo, (MÚCIO; LEITE DA SILVA, 2007; SANO *et al.*, 1999; WIDMALM, S E *et al.*, 2003; WIDMALM, SVEN E *et al.*, 2006).

Acelerômetros também já foram e ainda são usados para esse fim através de um exame denominado eletrovibratografia (EVG). Os ruídos são captados por dois acelerômetros, um para cada lado da cabeça, e os sinais processados em um Software específico denominado Sonopak, (ABRÃO, 2009; DEREGIBUS *et al.*, 2013; ISHIGAKI; BESSETTE; MARUYAMA, 1993; OLIVEIRA MAZZETTO *et al.*, 2008; OLIVIERI *et al.*, 2010).

Todavia, a vantagem relevante a ser destacada com a utilização do método ora proposto é que, quando comparado com outros tipos de exames para a ATM este é rápido, tem um custo reduzido, não expõe o paciente a radiações ionizantes podendo por isso ser utilizado por mulheres em qualquer fase da gestação. Considere-se ainda que além de poder ser feito em consultório, revela o nível do estalo na articulação.

3 METODOLOGIA

De acordo com seus objetivos gerais, esta pesquisa classifica-se como descritiva e com base nos procedimentos técnicos utilizados, enquadra-se como pesquisa transversal experimental (GIL, 2009).

A variável aceleração é descrita como quantitativa e contínua pois seus valores são expressos em números que podem ser inteiros ou não (MELLO, 2005).

3.1 COMITÊ DE ÉTICA / CONSENTIMENTO INFORMADO

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisas envolvendo seres humanos, CAAE: 54399716.7.0000.5547.

Todos os participantes leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

3.2 AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE ESTALOS

Para diferenciar os grupos com e sem estalos, realizou-se um exame com o auxílio de um estetoscópio. Foi considerado estalo, o ruído seco, forte e bem definido, que ocorreu em algum ponto da abertura ou fechamento do trajeto mandibular. O som poderia estar presente ou ausente (COSTA, JESSICA ELLEN DA SILLVA, 2013). Para a aquisição e processamento dos sinais foi utilizado um sistema composto por um aparelho celular com um acelerômetro interno e um *software* específico para medir vibrações. Para a análise utilizou-se o *Software MatLab*. O aparelho foi mantido sobre a face com o auxílio de um abafador de ruídos e um metrônomo padronizou a velocidade dos movimentos

3.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO DA PESQUISA

Os seguintes critérios foram motivos de exclusão de sujeitos:

Indivíduos com dor aguda na articulação.

Indivíduos que tinham restrições para abertura da boca.

Pessoas com histórico de luxação da articulação.

3.4 BENEFÍCIOS PARA O PESQUISADO

Como benefício direto, os pacientes participantes receberam esclarecimentos sobre como prevenir e tratar os problemas da Articulação Temporomandibular.

Como benefício indireto, teremos a divulgação para a comunidade científica do resultado do trabalho produzido.

O processo não é um exame invasivo, não emite radiação, tem baixo custo e utiliza um *smartphone* que deve ser colocado em uma posição semelhante à que se usa para os seus fins normais.

Tem como desvantagem não ser um tratamento, mas um exame para auxiliar no diagnóstico em caso de ruídos na articulação e isso ficou claro para os pacientes.

3.5 RISCOS PARA O PESQUISADO

Leve desconforto devido à pressão do abafador de ruído sobre a face.

Em casos raros poderá ocorrer luxação da articulação ao abrir a boca; nesses casos manobras de reposicionamento poderão ser executadas.

3.6 AQUISIÇÃO DOS BIOSINAIS

Os sinais foram adquiridos e processados pelo *smartphone* através do *software VibSensor*. Para análise os dados foram exportados para o programa *Matlab* onde as medidas dos eixos do acelerômetro foram separadas, os sinais foram comparados e então plotados em gráficos.

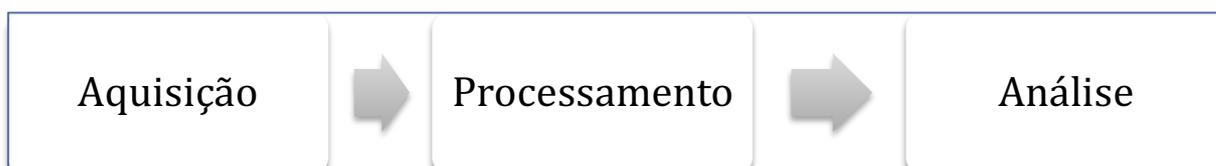


Figura 2 - Roteiro para processamento dos biosinais

Fonte: Autor

3.7 INFORMAÇÕES DO SMARTPHONE

O *smartphone* foi o veículo utilizado para testar o conceito do uso de acelerômetros para auxiliar no diagnóstico de patologias da ATM.

Um modelo como este da figura abaixo foi utilizado para coletar os sinais da articulação. As letras X,Y,Z representam os eixos nos quais o acelerômetro capta os sinais.

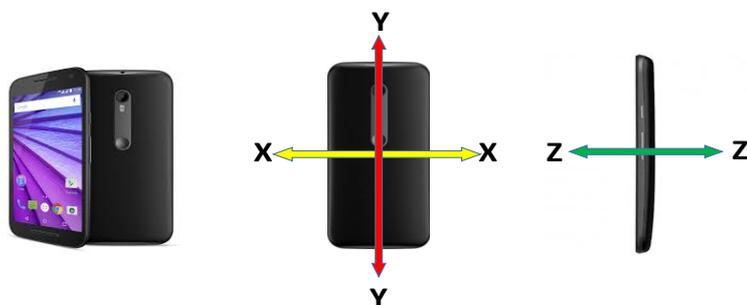


Figura 3 - Aparelho semelhante ao utilizado para coleta de dados

Fonte Internet modificada pelo autor

O aparelho foi posicionado sobre a face dos participantes com seu longo eixo paralelo ao solo como mostra a figura abaixo.

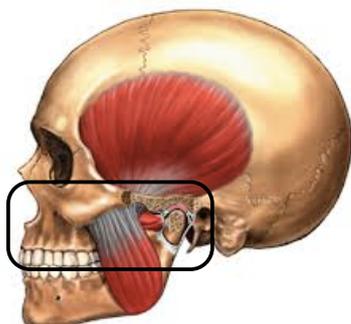


Figura 4 - Posição do *smartphone* sobre a face

Fonte Internet modificada pelo autor

3.8 INFORMAÇÕES DO ACELERÔMETRO INTERNO DO APARELHO

Tabela 1 - Características Técnicas do Acelerômetro

Características Técnicas do Acelerômetro	
Nome	3-axis Accelerometer
Fabricante	Kionix
Versão	1
Potência	0,25 mA
Resolução	0,0095768068 m/s ²
Alcance máximo	78,4532012939 m/s ²

Fonte: Autor

De acordo com o modo de construção do dispositivo ele permite que se receba informações de até 3 eixos simultaneamente, geralmente chamados pelos fabricantes de X, Y e Z. Alguns modelos medem apenas um ou dois eixos.

Tipicamente, os acelerômetros são constituídos por uma massa de reação

suspensa por uma estrutura estacionária. A magnitude da aceleração aplicada é vista, por instrumentos ou circuitos, como um impulso elétrico que é depois processado por circuitos externos, podendo ser usado em inúmeras aplicações. Muitas informações podem ser obtidas tais como: acelerações (dinâmicas), inclinação, rotação, vibração, colisão e gravidade (acelerações estáticas), tornando-se assim um aparelho de elevada utilidade para projetos na área da eletrônica e robótica (MATHIE; *et al.*, 2006). No campo biomédico o acelerômetro tem sido usado por exemplo na avaliação do movimento humano, na detecção de distúrbios do sono, e na obtenção de variáveis fisiológicas a exemplo deste trabalho (FIGUEIREDO *et al.*, 2007), (RODRIGUES, 2014).

Há um crescimento no uso dos acelerômetros ao longo dos anos devido a sua precisão na obtenção dos dados, facilidade na coleta, ao baixo custo para a aquisição do equipamento e, devido à tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), os acelerômetros estão reduzidos a um único componente com cerca de 15mm³ pesando apenas alguns miligramas (MUNIZ; ANDRADE, 2012) (FIGUEIREDO *et al.*, 2007).

Faixa de medição: informa qual é a capacidade de medição do sensor, com valores negativos (desaceleração) e positivos (aceleração). Esta faixa será importante para determinar em qual aplicação o sensor pode ser utilizado, Figura 5.

Por conseguinte, ao escolher um acelerômetro, deve-se ter a certeza que a faixa de frequência do aparelho realmente inclua a faixa de interesse.

Faixa de Medida	Aplicação Típica	Onde pode ser usado
0,002 – 2g	Sismografia	Sismógrafos, Aparelhos para detecção de terremotos.
1 – 2g	Detecção de movimento	Alarme antirroubo, detector de quedas de humanos.
	Detecção de queda livre	HD's, notebooks, Celulares, MP3 players...
	Detecção de inclinação	Reconhecimento de movimentos, jogos...
2 – 8g	Detecção de capotagem	Acionamento de Air Bags laterais em veículos, controle de estabilidade e tração.
8 – 10g	Vibrações de motores industriais	Estabilização de motores
	Detecção de batidas, pancadas, choques mecânicos, colisões...	Trnsporte de cargas, área de logística, manuseio de encomendas e produtos..
10 – 20g	Pedômetros	Caminhas, corridas, exercícios, aparelhos de ginásticas e academia...
20 – 40g	Gravadores de movimento	Data Recorders, gravadores de evento...
40 – 100 g	Detecção de batidas de automóvel	Disparo de Air Bags

Figura 5 - Faixa de aplicação dos acelerômetros

Fonte: (PRADA, 2009)

O sensor utilizado neste trabalho possui a resolução de $0,00095760068 \text{ m/s}^2$ e alcance máximo de $78,4532012939 \text{ m/s}^2$.

3.9 INFORMAÇÕES DO SOFTWARE

O software funciona na plataforma Android e foi projetado para uma aquisição programada de sinais de vibração. Após coletados, os dados são salvos em um banco de dados sendo também possível além da visualização uma posterior exportação para serem analisados em outro *software*. O fabricante recomenda que o programa seja utilizado somente em primeiro plano, nunca em simultâneo com outros aplicativos. Desenvolvedor VibSensor Now Instruments and *Software*, Inc. Versão 1.3.2, tamanho 12M., 12736 Peartree Terr, Poway, CA 92064, USA.

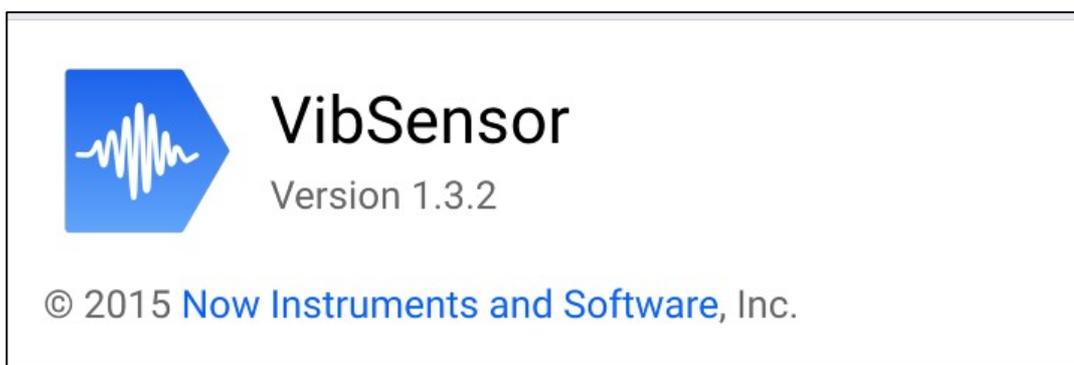


Figura 6 - *Software* para aquisição dos sinais

Fonte: Manual do usuário VibSensor

3.10 INFORMAÇÕES DO ABAFADOR DE RUÍDOS

Este equipamento foi utilizado para manter o celular em posição horizontal sobre a região de interesse enquanto o paciente realizava os movimentos de abrir e fechar da boca. Esta foi a melhor maneira encontrada para manter o *smartphone* fixo

sobre a região de interesse pois eliminava a interferência externa do examinador caso esse ficasse segurando manualmente o aparelho durante a coleta.



Figura 7 - Abafador de ruídos semelhante ao utilizado na pesquisa

Fonte Internet

3.11 INFORMAÇÕES DO METRÔNOMO

Criado pelo alemão Maazel em 1817, o metrônomo foi o primeiro aparelho mecânico a indicar de maneira precisa uma proporção entre andamento musical em pulsos e tempo cronológico em minutos (FREIRE, 2006). Neste trabalho foi utilizado para padronizar a frequência de abertura da boca entre todos os pacientes.



Figura 8 - Metrônomo semelhante ao que foi utilizado

Fonte internet

O aparelho foi posicionado em frente ao paciente e forneceu um ritmo de abertura de 60 bpm seguido pelos participantes.

Durante o tempo previsto de 20 segundos foram obtidos de 8 a 9 pares de sinais, (um par é um ciclo de abertura e fechamento), como mostra o Gráfico 1.

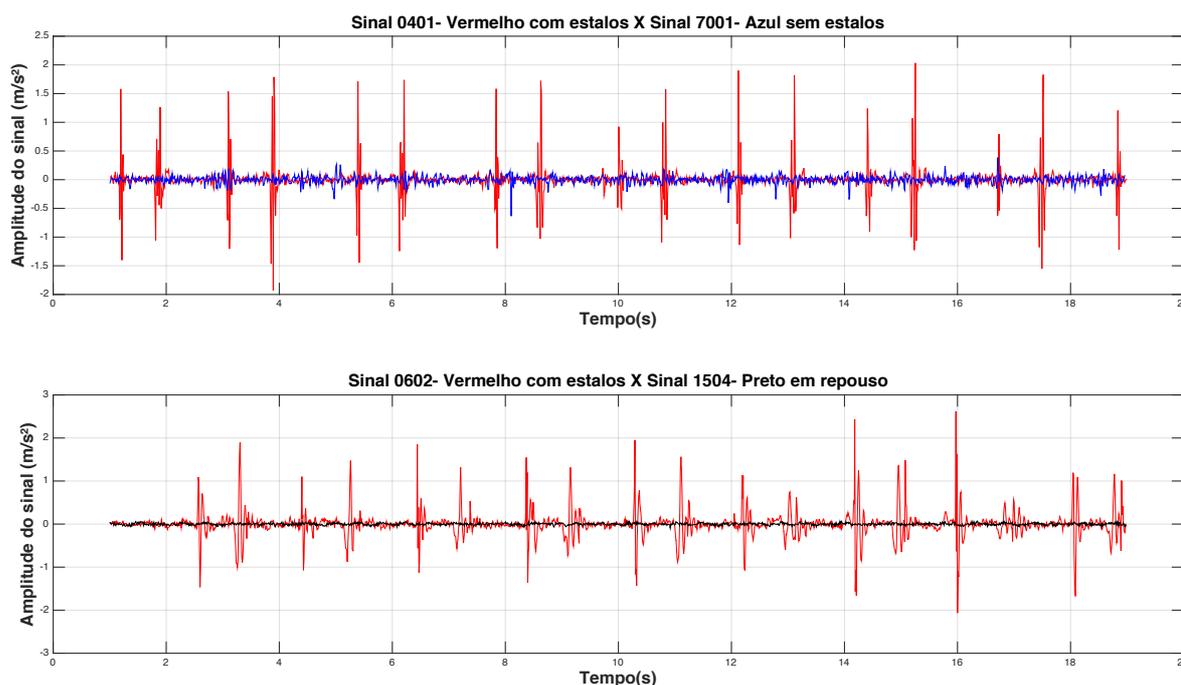


Gráfico 1 - Exemplo de sinais obtidos na frequência de 60bpm

Fonte: Autor

3.12 TERMINOLOGIA

No estudo das vibrações e frequências é importante o conhecimento prévio das seguintes definições (SINGIRESU, 2008):

Transdutor: dispositivo que transforma variáveis físicas como vibração, temperatura, ou pressão em sinais elétricos equivalentes.

Acelerômetro: Um tipo de transdutor que mede a aceleração de um corpo vibratório e que por meio de cálculos integrais, permite obter velocidade e deslocamento.

Aceleração: medida de quão rapidamente a velocidade de um corpo varia no tempo
 $1\text{ g} = 9.80665\text{ m/s}^2$.

Vibração: qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo.

Amplitude: o máximo deslocamento de um corpo vibratório em relação à sua posição de equilíbrio.

Ciclo: movimento do corpo partindo da posição de repouso até a sua posição extrema em um sentido e no segundo momento, o retorno pelo sentido contrário até sua posição inicial.

Período de oscilação: período de tempo necessário para se concluir um ciclo de movimento.

Frequência de oscilação: o número de ciclos por unidade de tempo.

Resolução: a menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente ou o menor valor que se pode aferir com um instrumento de medição (ALBERTAZZI; DE, 2013).

3.13 ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS

O aparelho celular foi colocado sobre a Articulação Temporomandibular e o paciente foi instruído a abrir e fechar a boca em intervalos regulares controlados por um metrônomo até um tempo total de 20 segundos. Repetiu-se o mesmo processo de medição por três vezes.

Uma quarta medição foi executada tendo como diferença o fato de que o paciente não abriu a boca e permaneceu em repouso.

O paciente permaneceu sentado com os braços apoiados na cadeira odontológica, olhar na horizontal, cabeça e corpo imóveis, sendo orientado a não bater os dentes ao abrir e fechar a boca. O abafador de ruídos do tipo fone de ouvido foi posicionado sobre a cabeça do avaliado ficando um fone sobre cada orelha. Após escolher o lado a ser medido, levantou-se o fone respectivo e sob ele foi colocado o aparelho celular com seu longo eixo na horizontal.

A pressão do abafador sobre o celular foi suficiente para mantê-lo na posição correta durante todo tempo de medição. O avaliado recebeu instruções claras para não realizar movimentos com a cabeça ou qualquer outra parte do corpo que não fosse o ato de abrir e fechar a boca para não comprometer a coleta. A fim de padronizar a frequência de abertura da boca entre os participantes, utilizou-se um metrônomo ajustado em 60 bpm.

Evitou-se ambientes sujeitos a vibrações no solo pois estas poderiam ser detectadas pelo equipamento e comprometeriam o resultado.

Local de coleta: interior de consultório odontológico ou outro local seguro e discreto.

3.14 SEQUÊNCIA DE MEDIÇÃO

Esta foi a sequência executada na coleta dos dados.

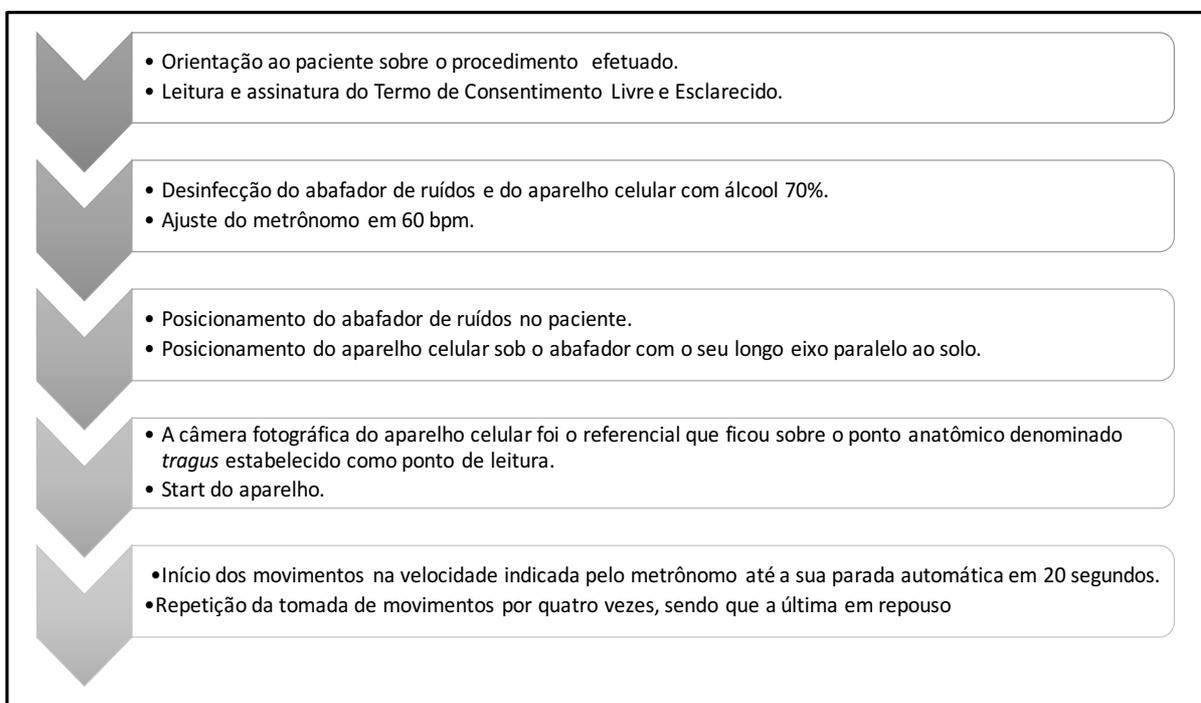


Figura 9 - Sequência coleta de dados

Fonte: Autor

3.15 PADRONIZAÇÃO DA NOMENCLATURA DO SINAL

O arquivo do sinal recebeu um número composto por quatro algarismos sendo que os dois primeiros identificam o paciente e os dois últimos a sequência em que foi realizada a medição. Do número 01 ao 40, pacientes com estalos ou crepitações na articulação e do número 50 até o 90, os pacientes não classificados no critério anterior. Sinais terminados com o algarismo quatro são aqueles coletados em repouso.

Exemplos:

Tabela 2- Nomenclatura dos sinais

0503	Paciente 05 com estalos, tomada de número três.
0401	Paciente 04 com estalos, tomada de número um.
5702	Paciente 57 sem estalos, tomada número dois.
2204	Paciente 22 com estalos, tomada número quatro (repouso).

Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de pacientes examinados, 62,96% (34/54) eram do sexo feminino e 37,4% (20/54) do sexo masculino, todos adultos com autonomia plena e idade variando entre 18 e 70 anos Tabela 3.

Concordando com a literatura, a busca por pacientes com estalos encontrou seu maior número entre pessoas do gênero feminino sendo 86,36% da amostra de pacientes com DTM conforme Tabela 3 (MORESCA; URIAS, 2001).

Tabela 3 - Qualificação da amostra estudada

Qualificação da amostra estudada						
	N	Masculino		Feminino		Amostras
		n	%	n	%	
Com estalos	22	03	13,64	19	86,36	66
Sem estalos	32	17	53,13	15	46,88	96
Repouso	54	20	37,04	34	62,96	54
Estático	31					31
				Total		247

Fonte: Autor

Por ser um exame não invasivo, sem custos, sem a emissão de radiação e com aparelho celular sendo colocado em uma posição semelhante à que já é usado normalmente ao falar, a receptividade dos participantes foi muito alta. O tempo máximo para conclusão do exame não excedeu a 10 minutos. Os grupos foram examinados por um mesmo operador e enquadrados nos seguintes critérios:

Grupo experimental: composto por vinte e dois indivíduos que ao abrir e fechar a boca apresentavam estalos na articulação.

Grupo de controle: composto por trinta e dois pacientes que ao abrir e fechar a boca não apresentavam estalos na articulação.

Grupo em repouso: o sinal foi coletado com os pacientes imóveis todos os

indivíduos fizeram parte deste grupo totalizando 54 pessoas.

Grupo estático: trata-se de uma coleta realizada com o aparelho posicionado sobre uma superfície lisa, sem interferências atmosféricas, o mais próximo da imobilidade possível.

Ao todo foram coletadas e analisadas duzentas e quarenta e sete amostras de sinal conforme mostra a Tabela 3.

Importa registrar que, dos três eixos do acelerômetro (X, Y e Z), somente os dados do eixo Z foram considerados neste estudo, ver Figura 3. Isso porque, na posição em que foi colocado o aparelho celular, ver Figura 4, esse foi o eixo que melhor captou as variações de movimento geradas pela excursão do osso mandibular como também estalos decorrentes do deslocamento do disco articular.

As vibrações mecânicas são movimentos oscilatórios em torno de uma posição média e podem ser divididas em periódicas e aperiódicas. As vibrações periódicas podem corresponder a um movimento senoidal ou a um movimento periódico complexo que pode ser decomposto em uma soma de movimentos senoidais elementares mais fáceis de se analisar (MIRSHAWKA, 1991). Segundo esta definição os movimentos da Articulação Temporomandibular enquadram-se melhor como periódicos pois, como visto nos gráficos, apresentam uma recorrência ao longo do tempo.

4.1 SUMÁRIO DOS DADOS

A Tabela 4 abaixo dispõe os dados dos quatro grupos estudados cada qual em sua respectiva coluna. No cálculo dos grupos com e sem estalos, foi considerada a média das três aferições tomadas de cada paciente. Nos grupos em repouso e estático, seguindo o protocolo inicial proposto, foi feita somente uma aferição de cada.

Tabela 4 - Comparação das médias entre os grupos

Comparação entre os grupos estudados - m/s²						
	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Com estalos	1,35550	-1,34977	-0,00041	-0,00001	0,15684	2,70527
Sem estalos	0,57881	-0,50930	-0,00027	0,00002	0,07234	1,08811
Repouso	0,09324	-0,09844	0,00003	-0,00001	0,02564	0,19168
Estático	0,08021	-0,07804	-0,00012	0,00001	0,02322	0,15826

Range: diferença entre o maior e o menor sinal - D. Padrão: mostra a dispersão dos valores em relação a média

Fonte: Autor

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS QUATRO GRUPOS ESTUDADOS

Houve preocupação em saber onde estavam os picos dos sinais a fim de que também pudessem ser comparados. O Gráfico 2, a seguir, mostra esse resultado.

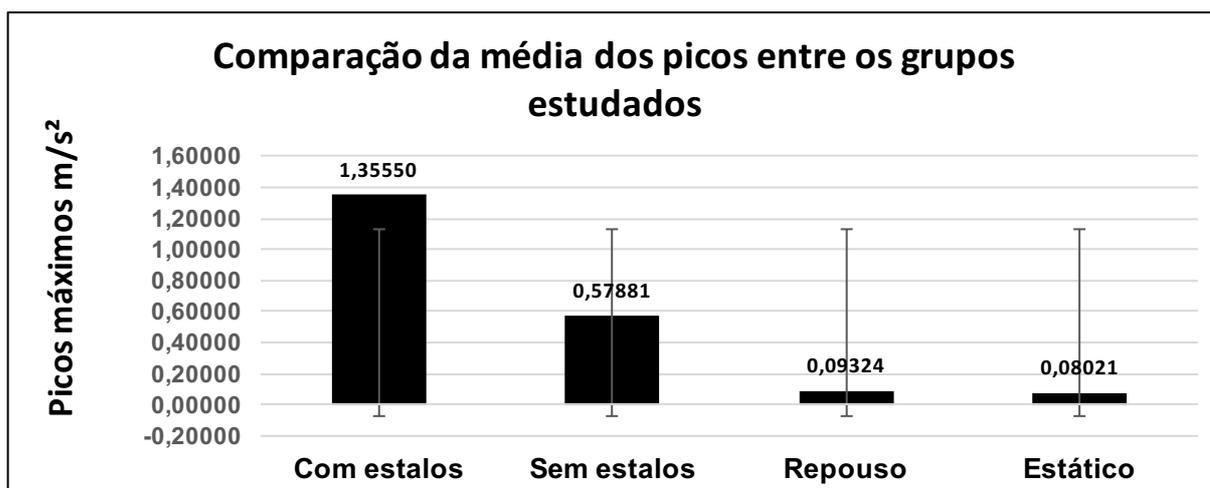


Gráfico 2 - Comparação dos picos dos sinais entre os quatro grupos estudados

Fonte: Autor

A média dos valores de pico dos sinais da amostra seguiu uma tendência próxima à já esperada para cada grupo. As medidas com o sensor estático foram as mais baixas e os pacientes com estalos na articulação obtiveram as maiores médias 1,35550 m/s² conforme Gráfico 2. No grupo de pacientes cuja articulação realiza movimentos dentro de um padrão fisiológico as vibrações ficaram em 0,57881 m/s².

O Gráfico 3 compara as amplitudes dos sinais captados pelo acelerômetro e reproduz as mesmas diferenças do gráfico dos picos máximos.

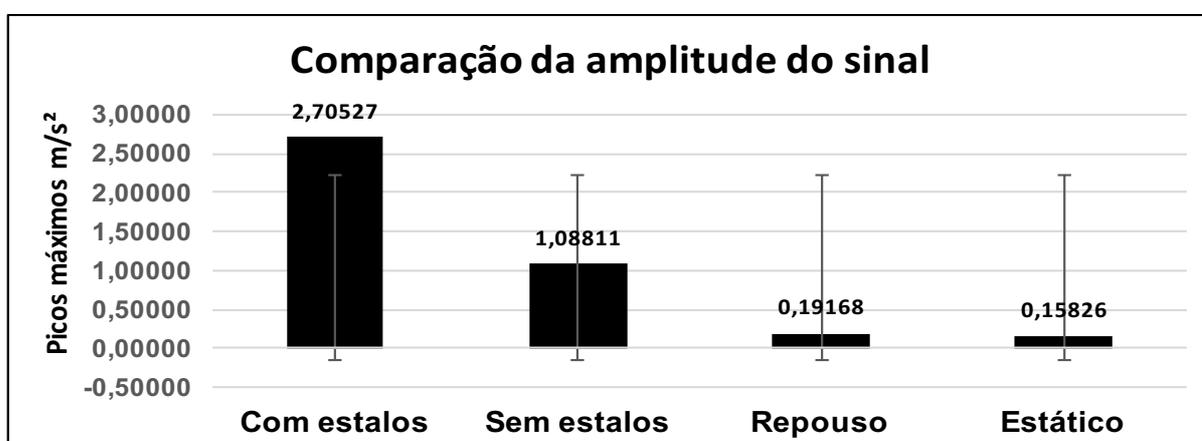


Gráfico 3 - Comparação das amplitudes dos sinais entre os quatro grupos estudados

Fonte: Autor

4.3 GRÁFICO DOS PACIENTES COM ESTALOS NA ARTICULAÇÃO

O Gráfico 4, dos pacientes com estalos na articulação, mostra uma grande variação entre os picos dos sinais coletados.



Gráfico 4 - Picos máximos pacientes com estalos na articulação

Fonte: Autor

Visto que os ruídos na articulação apresentam comportamentos individuais, tal característica pode ser considerada como normal, refletindo este gráfico as várias intensidades de ruídos encontradas na amostra estudada, indo de estalos leves como os sinais 01 e 02 até estalos mais acentuados como o que pode ser visto no sinal de número 10 do Gráfico 4.

Existe a evidente associação entre a intensidade do ruído articular e a altura do sinal do eixo Y do Gráfico 4. Por esse motivo o desvio padrão, grandeza que mede a dispersão dos valores em torno da média, ficou muito alto 0,15684 conforme Tabela 4, pois em um mesmo pacote de dados havia pacientes com fortes estalos e outros apenas com crepitação, por exemplo.

4.4 TABELA DOS PACIENTES COM ESTALOS NA ARTICULAÇÃO

A Tabela 05 relaciona os sinais dos pacientes numerados de 01 a 22 os quais apresentavam estalos ou crepitações na ATM. À frente do número de cada sinal, está a média das três amostras coletadas de cada indivíduo, cada qual em sua coluna correspondente.

Tabela 5 - Pacientes com estalos na articulação m/s²

Média dos pacientes com estalos na articulação						
RESUMC	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
	1,35550	-1,34977	-0,00041	-0,00001	0,15684	2,70527
01	0,41191	-0,35365	0,00148	0,00003	0,04997	0,76556
02	0,26833	-0,30409	0,00077	-0,00001	0,04290	0,57242
03	2,31543	-5,14968	0,00675	-0,00019	0,45499	7,46512
04	2,38177	-1,94965	0,00369	-0,00022	0,24543	4,33142
05	0,68645	-1,06098	-0,00059	0,00001	0,09431	1,74742
06	2,62140	-1,82413	-0,00341	0,00020	0,29042	4,44553
07	0,65908	-1,00041	-0,00072	-0,00003	0,10558	1,65949
08	1,59581	-0,86827	-0,00269	0,00019	0,12376	2,46407
09	1,09686	-0,95731	-0,00012	0,00000	0,08614	2,05417
10	5,42156	-4,39413	-0,00052	-0,00002	0,54461	9,81569
11	0,46332	-0,36306	-0,00038	0,00000	0,05859	0,82638
12	0,29499	-0,25891	-0,00046	0,00001	0,05269	0,55390
13	1,90043	-1,11501	-0,00163	0,00012	0,20751	3,01544
14	0,60756	-0,54325	-0,00147	-0,00013	0,09677	1,15081
15	1,08408	-1,20634	-0,00128	-0,00013	0,10478	2,29043
16	1,31337	-0,97203	-0,00157	0,00002	0,10234	2,28540
17	1,10273	-0,83208	0,00108	-0,00002	0,09024	1,93480
18	1,01448	-1,08320	-0,00026	-0,00010	0,12930	2,09768
19	0,68959	-0,80294	0,00009	-0,00006	0,07032	1,49253
20	1,11876	-1,05955	-0,00790	0,00011	0,17515	2,17831
21	1,83616	-2,01803	0,00007	-0,00017	0,23590	3,85419
22	0,93683	-1,57829	-0,00001	0,00005	0,08885	2,51512

Fonte: Autor

4.5 GRÁFICO DOS PACIENTES SEM ESTALOS NA ARTICULAÇÃO

Abaixo estão dispostos os sinais dos trinta e dois pacientes classificados dentro do grupo sem estalos na ATM.

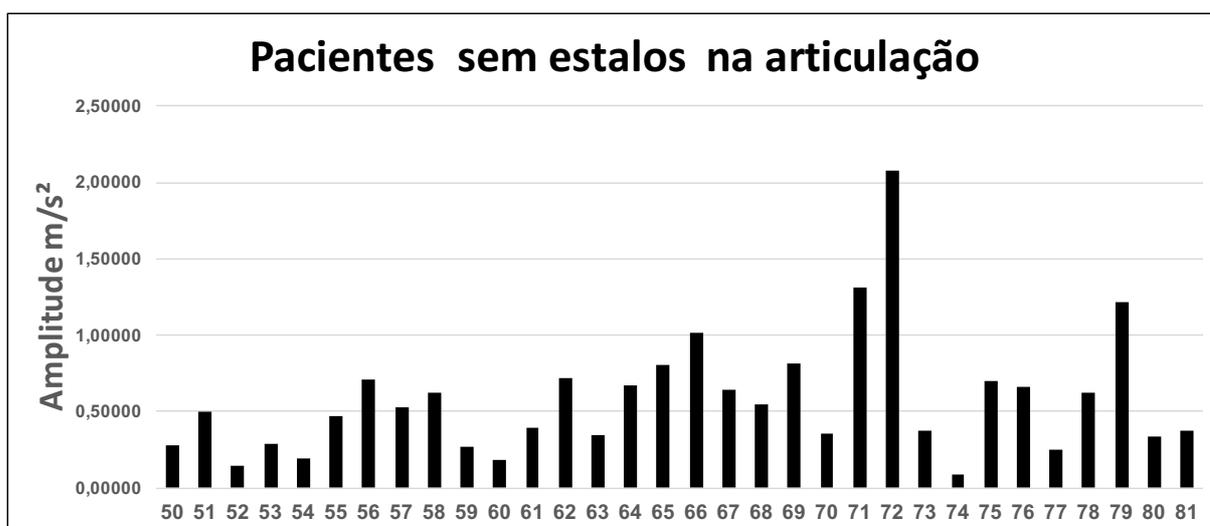


Gráfico 5 - Picos máximos dos pacientes sem estalos

Fonte: Autor

Conforme Gráfico 5, entre os trinta e dois sinais da amostra sem estalos na articulação, apenas os sinais de número 71, 72 e 79 tiveram as médias de picos acima de 1 m/s^2 . Após investigações clínicas dos indivíduos verificou-se tratarem de possíveis casos de hiper mobilidade condilar definida como aumento da amplitude de movimento de múltiplas articulações do corpo (PASINATO *et al.*, 2011).

Ressalta-se aqui a importância de um apurado exame clínico inicial para evitar conclusões precipitadas guiadas pela simples observação gráfica.

4.6 TABELA DOS PACIENTES SEM ESTALOS NA ARTICULAÇÃO

A Tabela 6, logo abaixo, relaciona os sinais dos pacientes numerados de 50 a 81 os quais não apresentavam estalos na ATM. À frente do número de cada sinal, está a média das três amostras coletadas de cada indivíduo cada qual em sua coluna correspondente.

Tabela 6 - Pacientes sem estalos na articulação m/s²

Média dos pacientes sem estalos na Articulação						
RESUMO	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
	0,57881	-0,50930	-0,00027	0,00002	0,07234	1,08811
50	0,28287	-0,35078	-0,00073	0,00017	0,05532	0,63365
51	0,50229	-0,48546	-0,00055	0,00021	0,07466	0,98775
52	0,14503	-0,13775	-0,00079	0,00004	0,03222	0,28278
53	0,29258	-0,20418	-0,00059	0,00006	0,04819	0,49676
54	0,19554	-0,21832	-0,00014	0,00005	0,03082	0,41386
55	0,47338	-0,53395	-0,00083	-0,00001	0,09068	1,00733
56	0,70960	-0,87632	-0,00073	0,00000	0,09329	1,58592
57	0,52552	-0,50059	0,00026	0,00003	0,04766	1,02611
58	0,62491	-0,57341	0,00040	0,00004	0,03983	1,19832
59	0,27048	-0,19813	-0,00072	0,00004	0,03939	0,46861
60	0,18633	-0,12657	-0,00043	-0,00005	0,02919	0,31290
61	0,39164	-0,32475	-0,00040	0,00007	0,07324	0,71639
62	0,71480	-0,36975	0,00055	0,00005	0,05540	1,08455
63	0,34770	-0,27391	-0,00008	0,00001	0,05432	0,62162
64	0,67174	-0,30815	-0,00208	-0,00001	0,06233	0,97989
65	0,80672	-0,58169	-0,00057	-0,00013	0,08369	1,38840
66	1,01029	-0,62095	0,00015	0,00002	0,10456	1,63124
67	0,63747	-0,47084	-0,00175	-0,00007	0,08833	1,10831
68	0,54241	-0,54366	0,00018	0,00000	0,06642	1,08607
69	0,81302	-0,60420	0,00075	-0,00007	0,10566	1,41722
70	0,35935	-0,69699	0,00401	0,00003	0,07360	1,05634
71	1,31465	-1,34446	0,00318	-0,00004	0,15250	2,65911
72	2,07593	-1,37679	-0,00455	0,00018	0,18329	3,45272
73	0,37556	-0,36264	-0,00114	0,00018	0,06934	0,73820
74	0,08770	-0,09262	-0,00023	0,00000	0,02334	0,18032
75	0,69607	-0,51657	-0,00078	-0,00001	0,08309	1,21264
76	0,66449	-0,86462	0,00074	0,00003	0,09034	1,52911
77	0,25026	-0,21088	-0,00083	0,00000	0,04079	0,46114
78	0,61997	-0,63616	-0,00171	0,00000	0,07757	1,25613
79	1,21628	-1,08421	0,00082	0,00002	0,11120	2,30049
80	0,33940	-0,34984	-0,00012	-0,00003	0,04974	0,68924
81	0,37781	-0,45861	0,00001	-0,00007	0,08478	0,83642

Fonte: Autor

4.7 GRÁFICO DOS PACIENTES EM REPOUSO

A fim de se obter um referencial para comparações, todos os participantes da pesquisa tiveram o sinal em repouso coletado. O resultado pode ser visto abaixo no Gráfico 6.

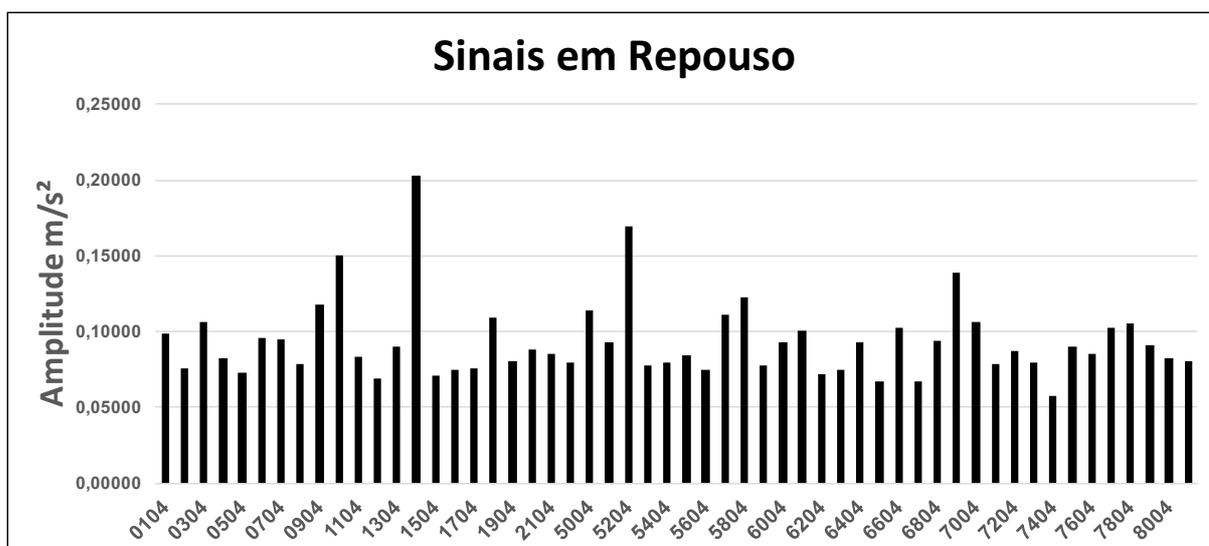


Gráfico 6 - Comparação dos picos entre os pacientes em repouso

Fonte: Autor

Os pacientes em repouso apresentaram picos de sinal com média de 0,09324 m/s² bem abaixo do grupo com estalos 1,35550 m/s² como pode ser visto na Tabela 4 e Gráfico 6.

Barras mais altas no gráfico como por exemplo nos sinais 1004,1404, 5204, 6904 devem ser melhor investigadas, mas foram atribuídas preliminarmente a movimentos involuntários durante a coleta ou mesmo pequenas pulsações da artéria temporal superficial visto ser uma área próxima da estrutura analisada como se pode ver a seguir na Figura 10.

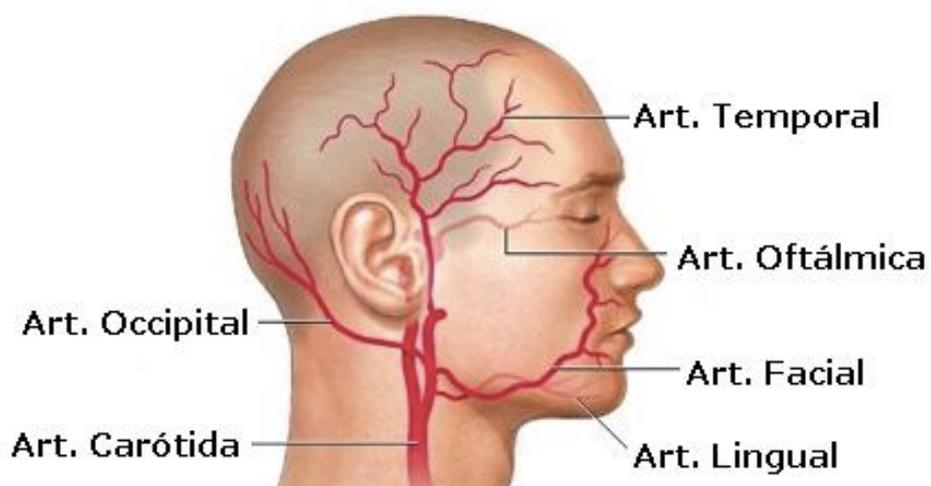


Figura 10 - Artéria temporal superficial

Fonte <http://www.medicinageriatrica.com.br>

4.8 TABELA DOS PACIENTES EM REPOUSO

A Tabela 07 relaciona os sinais dos pacientes em repouso. Como o sinal foi coletado em repouso, todos os pacientes foram relacionados independente do estado da ATM. À frente do número de cada sinal, está o valor obtido de cada indivíduo cada qual em sua coluna correspondente.

Tabela 7 - Sinais em repouso m/s²

Comparação dos sinais repouso						
RESUMO	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
0104	0,09324	-0,09844	0,00003	-0,00001	0,02564	0,19168
0204	0,09901	-0,13191	-0,00020	-0,00003	0,03072	0,23092
0304	0,07594	-0,08309	-0,00014	0,00001	0,02432	0,15903
0404	0,10583	-0,13468	-0,00042	0,00001	0,02854	0,24052
0504	0,08198	-0,08594	0,00003	-0,00003	0,02539	0,16791
0604	0,07239	-0,06827	0,00063	-0,00005	0,02196	0,14066
0704	0,09556	-0,10308	-0,00088	-0,00004	0,02848	0,19864
0804	0,09455	-0,09291	0,00012	-0,00016	0,02723	0,18746
0904	0,07888	-0,07292	-0,00076	0,00002	0,02219	0,15179
1004	0,11784	-0,11131	0,00071	0,00011	0,02948	0,22916
1104	0,15061	-0,08961	-0,00012	-0,00004	0,02703	0,24022
1204	0,08327	-0,09027	-0,00059	-0,00001	0,02465	0,17354
1304	0,06892	-0,08523	-0,00003	0,00002	0,02214	0,15415
1404	0,09003	-0,09304	0,00008	-0,00004	0,02522	0,18307
1504	0,20316	-0,18748	0,00031	-0,00009	0,04349	0,39064
1604	0,07070	-0,09532	-0,00052	-0,00003	0,02345	0,16601
1704	0,07519	-0,07281	-0,00007	-0,00010	0,01941	0,14800
1804	0,07584	-0,08057	0,00102	-0,00007	0,02266	0,15642
1904	0,10963	-0,11564	-0,00098	-0,00011	0,02578	0,22528
2004	0,08058	-0,07674	0,00002	-0,00008	0,02336	0,15732
2104	0,08807	-0,12600	-0,00033	0,00013	0,02707	0,21408
2204	0,08508	-0,09210	-0,00032	-0,00002	0,02344	0,17718
5004	0,07917	-0,07472	0,00040	0,00008	0,02310	0,15389
5104	0,11365	-0,12572	-0,00069	0,00005	0,02860	0,23937
5204	0,09248	-0,10191	0,00027	0,00001	0,02684	0,19440
5304	0,16965	-0,19655	-0,00073	0,00004	0,03668	0,36620
5404	0,07747	-0,07211	-0,00023	-0,00005	0,02427	0,14957
5504	0,07983	-0,08683	0,00001	0,00001	0,02378	0,16667
5604	0,08436	-0,09053	0,00069	0,00004	0,02667	0,17489
5704	0,07518	-0,08486	-0,00011	0,00000	0,02361	0,16004
5804	0,11132	-0,08538	0,00073	0,00007	0,02168	0,19670
5904	0,12218	-0,09072	0,00002	0,00007	0,02554	0,21290
6004	0,07729	-0,08176	-0,00006	-0,00004	0,02226	0,15905
6104	0,09282	-0,07349	-0,00009	0,00005	0,02341	0,16632
6204	0,10082	-0,12837	0,00054	-0,00004	0,02880	0,22919
6304	0,07147	-0,07816	-0,00022	-0,00001	0,02036	0,14962
6404	0,07452	-0,06825	-0,00069	-0,00001	0,02168	0,14277
6504	0,09299	-0,08611	0,00036	0,00007	0,02596	0,17910
6604	0,06754	-0,07541	-0,00006	0,00003	0,01957	0,14295
6704	0,10239	-0,12240	-0,00021	0,00001	0,02994	0,22479
6804	0,06744	-0,11141	0,00075	-0,00007	0,02406	0,17885
6904	0,09352	-0,08360	-0,00074	-0,00002	0,02681	0,17712
7004	0,13904	-0,15780	0,00016	-0,00002	0,03144	0,29684
7104	0,10638	-0,14498	0,00176	-0,00006	0,03561	0,25135
7204	0,07872	-0,08115	0,00015	-0,00001	0,02167	0,15986
7304	0,08740	-0,08707	-0,00027	-0,00003	0,02341	0,17447
7404	0,07962	-0,10636	0,00010	-0,00006	0,02416	0,18598
7504	0,05756	-0,07068	-0,00042	0,00002	0,01766	0,12823
7604	0,09028	-0,08215	0,00064	0,00000	0,02562	0,17243
7704	0,08497	-0,09743	-0,00011	-0,00002	0,02579	0,18241
7804	0,10259	-0,09750	-0,00034	0,00003	0,02643	0,20010
7904	0,10558	-0,09274	0,00032	-0,00004	0,02763	0,19832
8004	0,09120	-0,09866	0,00126	-0,00003	0,02619	0,18985
8104	0,08222	-0,09102	0,00034	0,00006	0,02457	0,17324
8104	0,08000	-0,10100	0,00028	0,00001	0,02497	0,18100

Fonte: Autor

4.9 MEDIDAS DE CONTROLE COM O APARELHO ESTÁTICO

O aparelho celular foi posicionado sobre uma bancada de mármore plana e sem movimentos. Foram aplicados os mesmos parâmetros de coleta usados para os pacientes. O objetivo desse procedimento foi encontrar uma variação do sensor quando exposto a estas condições consideradas hipoteticamente de marcações em zero.

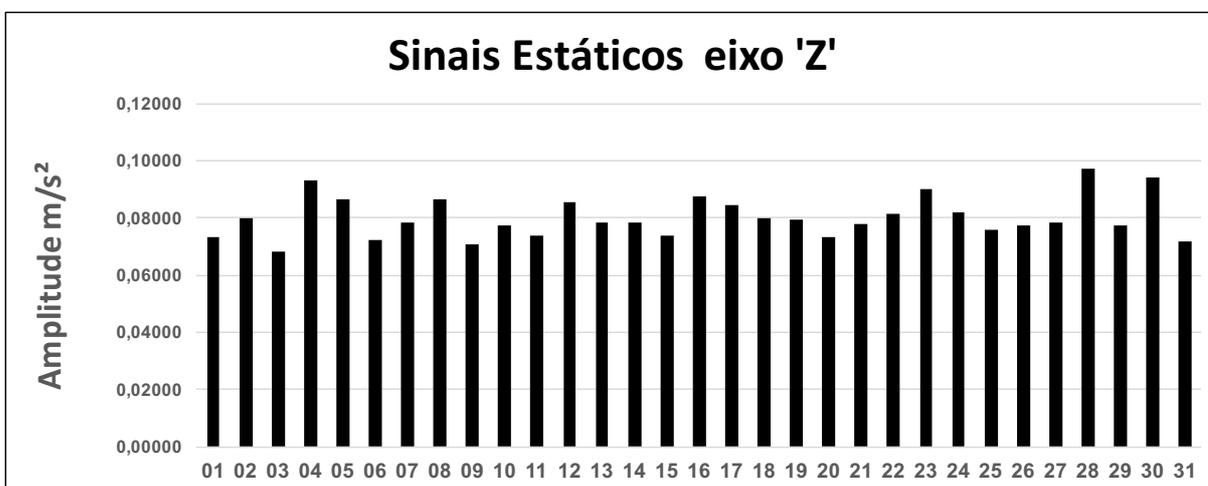


Gráfico 7 - Comparação dos picos dos sinais estáticos no eixo 'Z'

Fonte: Autor

As medidas tomadas com o aparelho estático apresentaram pouca variação em sua amplitude. Essa pequena diferença mostrada no Gráfico 7 acima está presente devido a variáveis e às condições ambientais que interferem no sinal medido por um acelerômetro como: umidade, oscilação da temperatura, interferências eletromagnéticas e vibrações externas desconhecidas (SALINAS, 2005), (MENDES, ANDRÉ AVELINO OLIVEIRA; OLIVEIRA; NEVES, [S.d.]).

4.10 TABELA COM OS DADOS DO APARELHO ESTÁTICO

A Tabela 08 relaciona os sinais obtidos com o *smartphone* em uma situação estática com o aparelho sendo colocado sobre uma superfície plana e dura livre de vibrações externas perceptíveis. À frente do número de cada sinal, está o valor obtido em cada medição cada qual em sua coluna correspondente

Tabela 8 - Comparação dos sinais estáticos no eixo 'Z' m/s²

Comparação entre os sinais estáticos no eixo 'Z'						
RESUMO	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
	0,08021	-0,07804	-0,00012	0,00001	0,02322	0,15826
se1	0,07358	-0,06634	-0,00005	-0,00001	0,02218	0,13992
se2	0,07988	-0,07016	-0,00049	0,00000	0,02160	0,15004
se3	0,06848	-0,07245	-0,00069	-0,00002	0,02248	0,14093
se4	0,09323	-0,07469	-0,00035	0,00000	0,02295	0,16792
se5	0,08665	-0,07697	-0,00080	0,00006	0,02347	0,16362
se6	0,07243	-0,06948	-0,00052	0,00003	0,02297	0,14191
se7	0,07856	-0,08104	0,00069	-0,00006	0,02283	0,15960
se8	0,08667	-0,08132	0,00022	-0,00007	0,02249	0,16799
se9	0,07077	-0,07085	0,00015	0,00012	0,02251	0,14162
se10	0,07760	-0,07100	-0,00068	0,00001	0,02261	0,14860
se11	0,07396	-0,08183	-0,00066	0,00004	0,02309	0,15579
se12	0,08542	-0,08564	-0,00071	0,00001	0,02410	0,17105
se13	0,07830	-0,08037	-0,00013	0,00005	0,02374	0,15867
se14	0,07830	-0,08037	-0,00013	0,00005	0,02374	0,15867
se15	0,07363	-0,07170	-0,00037	-0,00008	0,02357	0,14533
se16	0,08757	-0,06965	-0,00041	0,00001	0,02293	0,15721
se17	0,08465	-0,06759	-0,00070	0,00001	0,02297	0,15224
se18	0,07977	-0,08761	0,00032	-0,00006	0,02346	0,16738
se19	0,07948	-0,07679	0,00023	-0,00002	0,02342	0,15627
se20	0,07339	-0,08878	0,00039	0,00002	0,02383	0,16217
se21	0,07800	-0,07402	-0,00005	-0,00001	0,02354	0,15201
se22	0,08159	-0,08393	-0,00065	0,00007	0,02339	0,16552
se23	0,09008	-0,08774	0,00066	0,00005	0,02338	0,17782
se24	0,08225	-0,07464	0,00098	0,00006	0,02300	0,15690
se25	0,07578	-0,07867	0,00016	-0,00001	0,02364	0,15445
se26	0,07721	-0,08202	0,00065	-0,00002	0,02305	0,15923
se27	0,07865	-0,08401	0,00034	0,00004	0,02365	0,16266
se28	0,09732	-0,09651	-0,00039	-0,00002	0,02428	0,19383
se29	0,07724	-0,08060	0,00001	-0,00006	0,02369	0,15784
se30	0,09411	-0,07213	-0,00025	0,00001	0,02418	0,16624
se31	0,07205	-0,08047	-0,00047	0,00006	0,02309	0,15252

Fonte: Autor

4.11 VARIAÇÕES ENTRE AS TRÊS AMOSTRAS DE UM MESMO PACIENTE

Com o objetivo de verificar a variação dos sinais entre as três coletas do mesmo paciente, decidiu-se no planejamento inicial, aferir o paciente por três vezes com o intuito de se trabalhar com a média dos sinais, o Gráfico 8 mostra o resultado.

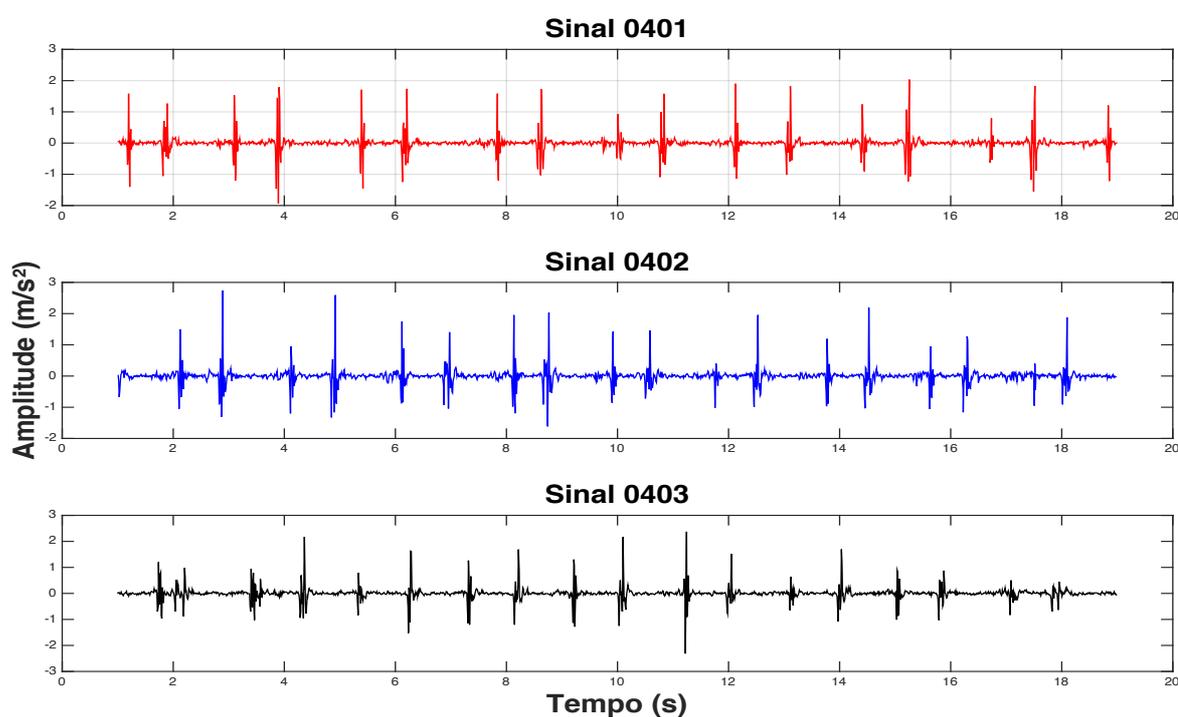


Gráfico 8 - Variação do sinal de um mesmo paciente com estalos na articulação

Fonte: Autor

No Gráfico 9, os três sinais são plotados simultaneamente e é possível ver que, apesar da dessincronia de movimentos na abertura e fechamento da boca, as amplitudes permanecem próximas umas das outras.

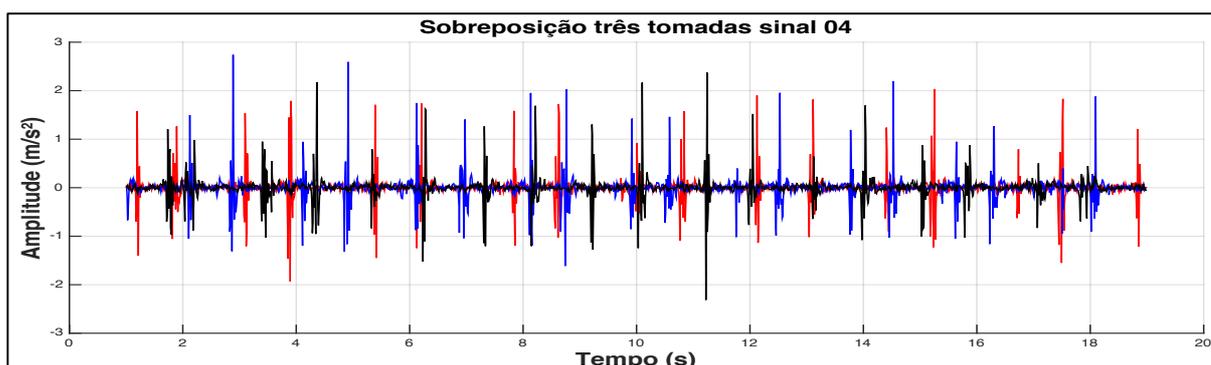


Gráfico 9 - Sobreposição dos três sinais do mesmo paciente

Fonte: Autor

Para facilitar a comparação de um mesmo sinal coletado em três momentos diferentes, os picos máximos e mínimos, o desvio padrão e a amplitude dos sinais plotados no Gráfico 9, podem ser vistos abaixo na forma de tabela.

Tabela 9 - Variações do sinal no paciente de número quatro

Variações Sinal 04

	Sinal	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Com estalos	0401	2,0339	-1,9224	0,0031	0,0000	0,2520	3,9563
Com estalos	0402	2,7394	-1,6127	0,0066	-0,0005	0,2478	4,3521
Com estalos	0403	2,3720	-2,3138	0,0014	-0,0001	0,2365	4,6858
		2,3818	-1,9497	0,0037	-0,0002	0,2454	4,3314

Fonte: Autor

Além da variação de sinal, própria dos equipamentos eletrônicos, já discutida no tópico sobre 'Medidas de controle com o aparelho estático', o grau de variação entre as três medidas mostrou que é possível se aperfeiçoar o processo de medição melhorando itens como a posição do aparelho sobre a face, o nível de abertura bucal, a pressão do abafador de ruídos que afeta o grau de conforto ao fazer os movimentos ou o número e tipo dos sensores utilizados. Esse grau de variação

encontrado na diferença das três amostras deve ser considerado na expressão do resultado final.

4.12 ESTUDO GRÁFICO DOS SINAIS NO ESPECTRO DO TEMPO

Todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações. A deterioração de seu modo de trabalho tem como consequência o aumento do nível dessas oscilações. Usando-se captadores colocados em pontos específicos dos equipamentos, pode-se registrar a energia vibracional e com isso identificar sua origem e evolução (MIRSHAWKA, 1991).

Apenas por analogia, considerando o corpo humano como uma máquina e a Articulação Temporomandibular como uma de suas engrenagens, com o uso do acelerômetro foram obtidos sinais que mostraram o comportamento de cada ATM estudada.

A onda vibratória gerada pode ser estudada por diversos métodos dependendo do nível de conhecimento do pesquisador e da disponibilidade de equipamentos de análise que cada uma delas requer. Nesta análise temporal faremos uso de dois valores importantes que são (MIRSHAWKA, 1991):

Valor de crista (coluna Max) = também chamado de valor de pico, uma medida importante para indicar por exemplo, o nível máximo de um choque de curta duração como o estalo que estamos medindo, na Tabela 10 está indicado pela coluna Max.

Valor pico a pico (coluna range) = mede a amplitude máxima da onda fundamental.

No Gráfico 10 vemos três cores diferentes representando articulações com amplitudes de sinal muito distintas mostrando a capacidade do sensor em diferenciar os grupos e os indivíduos entre si.

Cada indivíduo abriu e fechou a boca de oito a nove vezes como pode ser visto na linha temporal do Gráfico 10. Um mesmo indivíduo teve seus sinais aferidos por quatro vezes sendo que a última delas em repouso. Este tipo de apresentação dos dados mostra a abertura e o fechamento da boca e principalmente os estalos, na forma de perturbações verticais do sinal no eixo vertical Y. Estando o Gráfico 10 dentro de uma mesma escala é possível fazer a diferenciação visual entre os grupos estudados.

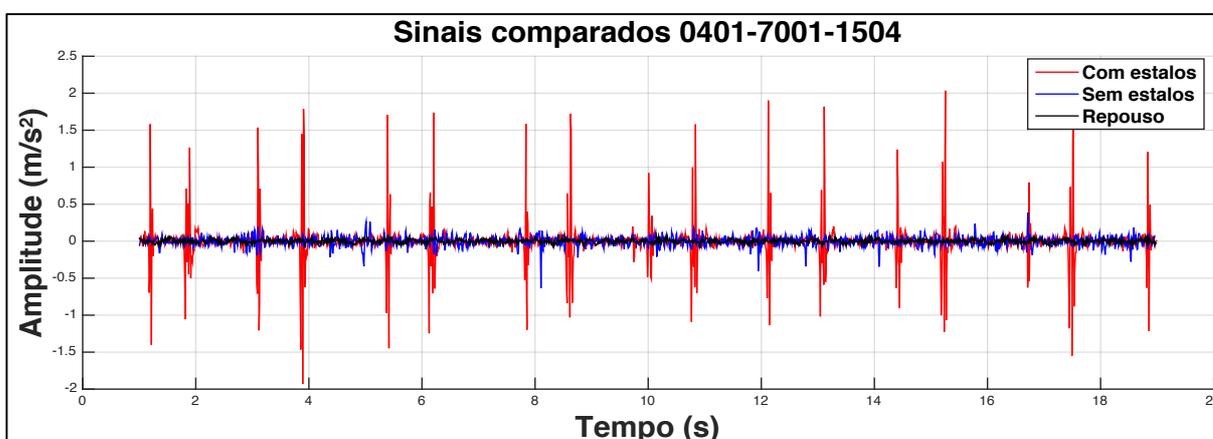


Gráfico 10 - Visão geral em uma mesma escala dos três grupos a serem diferenciados

Fonte: Autor

Ao observarmos a coluna Range da Tabela 10, fica evidente a diferença dos três casos comparados.

Tabela 10 - Visão comparada de três pacientes em situações distintas

Sinais comparados							
	Sinal	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Com estalos	0401	2,0339	-1,9224	0,0031	0,0000	0,2520	3,9563
Sem estalos	7001	0,3871	-0,6345	0,0044	0,0000	0,0646	1,0216
Repouso	1504	0,0707	-0,0953	-0,0005	0,0000	0,0234	0,1660

Fonte: Autor

No Gráfico 11 a comparação dos sinais ao longo do tempo deixa claro o surgimento de um certo padrão que permite diferenciar os grupos estudados e também cada indivíduo. Naqueles portadores de estalos, a variação repentina na amplitude do sinal durante a abertura da boca fez surgir barras verticais de amplitudes mais elevadas que estão presentes a cada ciclo de abertura/fechamento.

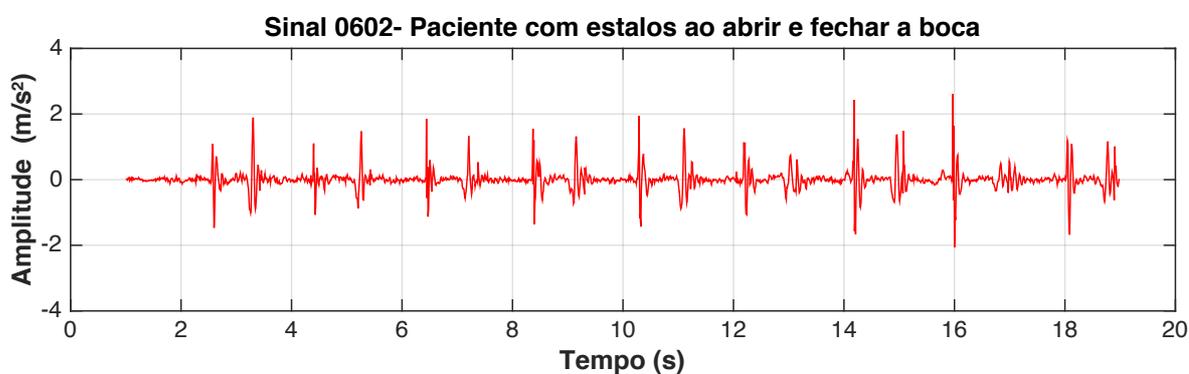
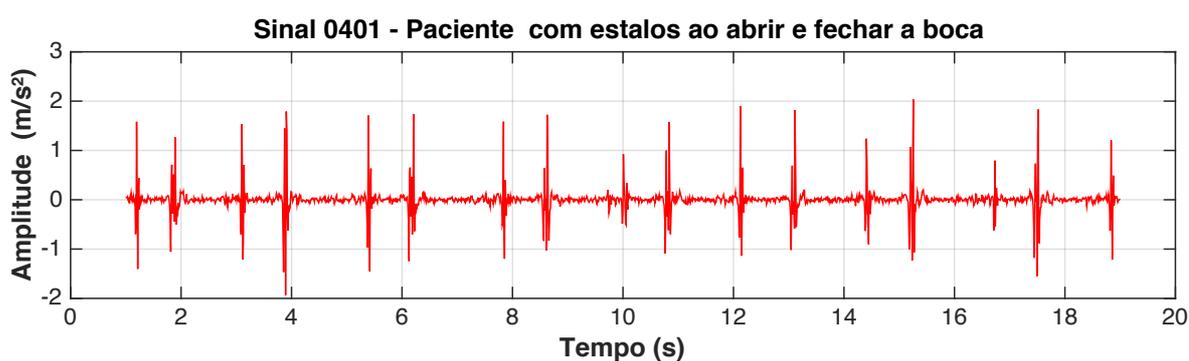


Gráfico 11 - Dois sinais mostrando os estalos no tempo

Fonte: Autor

Os valores numéricos dos sinais plotados no Gráfico 11 podem ser facilmente visualizados na tabela a seguir.

Tabela 11 - Comparação entre dois pacientes que apresentam estalo na ATM

Comparação entre dois sinais com estalos 0401 - 0602

	Sinal	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Com estalos	0401	2,0339	-1,9224	0,0031	0,0000	0,2520	3,9563
Com estalos	0602	2,6138	-2,0661	-0,0026	0,0002	0,3093	4,6798

Fonte: Autor

Abaixo temos um caso muito diferente entre todos os mostrados até agora. Trata-se de um paciente do sexo masculino que apresentava estalo intermitente em uma das articulações. O mesmo era provocado quando a boca era aberta em uma posição específica e conhecida pelo paciente. Na cor azul está plotada a primeira aferição, sem os estalos. Em vermelho, no tempo aproximado de 13,8s e 15,8s ficam evidentes os estalos provocados intencionalmente pelo paciente.

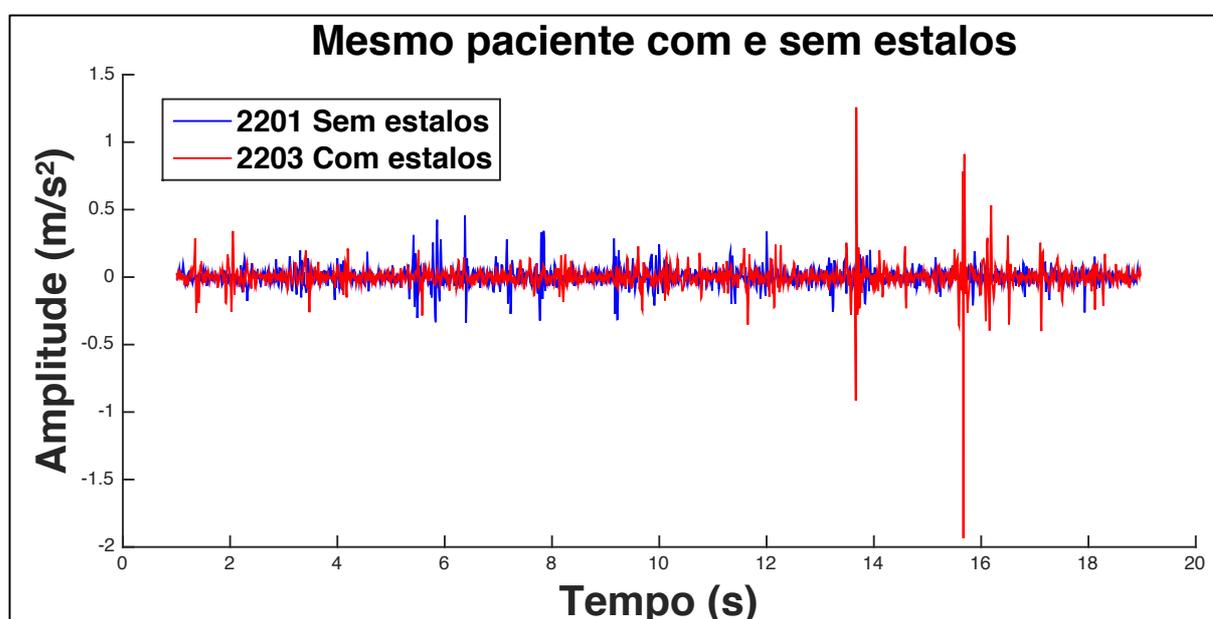


Gráfico 12 - Um mesmo paciente provocando o estalo no final do ciclo de abertura da boca

Fonte: Autor

A Tabela 12, quando observada pela coluna Range diferencia claramente os dois momentos do exame do paciente

Tabela 12 - Um mesmo paciente provocando o estalo no final da abertura bucal

Mesmo paciente com estalo provocado

	Sinal	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Sem estalos	2201	0,4578	-0,3385	-0,0003	0,0001	0,0650	0,7962
Com estalos	2203	1,2581	-1,9348	0,0004	0,0001	0,0976	3,1929

Fonte: Autor

No caso apresentado no Gráfico 12, aferir a aceleração permitiu a avaliação da intensidade de abertura bucal, bem como o grau de impacto dos estalos nos segmentos ósseos envolvidos. Dessa forma os padrões de sinais obtidos, como amplitude e duração, bem como os valores de pico, permitiram identificar a diferença entre abertura normal sem estalos e ruídos patológicos particularmente nesse paciente onde os estalos eram provocados somente em determinados movimentos de abertura.

No Gráfico 13 houve uma ampliação da escala de amplitude para que os sinais de uma sequência de abertura sem estalos pudessem ser melhor visualizados. O resultado pode ser visto na forma de perturbações verticais representadas pela cor azul. O sinal em repouso que está na cor preta foi plotado apenas para referência.

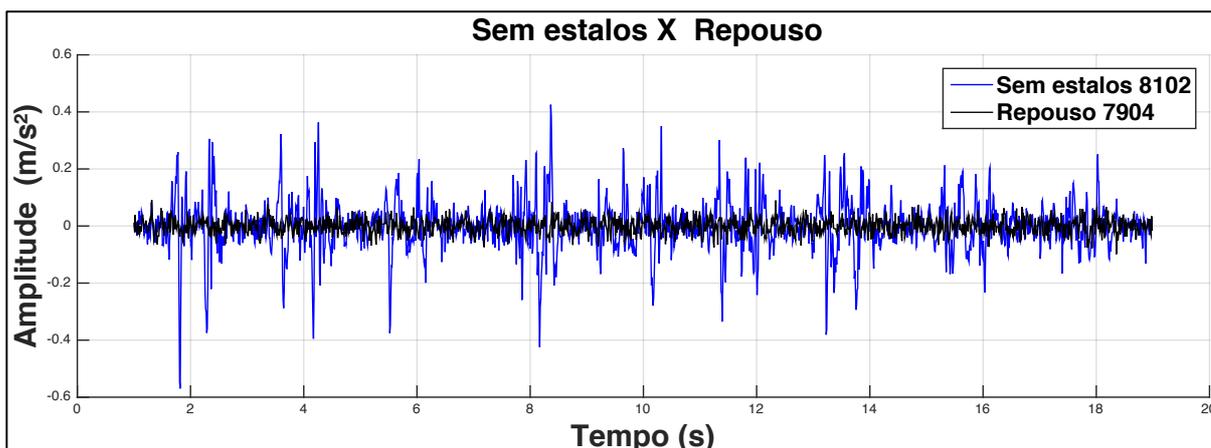


Gráfico 13 - Comparação entre indivíduo sem estalos e outro em repouso

Fonte: Autor

A Tabela 13 mostra o resultado descritivo dos sinais apresentados no Gráfico acima. Novamente é possível diferenciar os sinais pelas colunas dos picos máximos ou mínimos e Range.

Tabela 13 - Paciente sem estalos comparado a um outro em repouso

Comparação sinal sem estalos com indivíduo em repouso

	Sinal	Max	Min	Mediana	Média	D.padrão	Range
Sem estalos	8102	0,4252	-0,5698	-0,0014	-0,0001	0,0908	0,9949
Repouso	7904	0,0912	-0,0987	0,0013	0,0000	0,0262	0,1899

Fonte: Autor

No grupo de controle, que pode ser visto na cor azul do Gráfico 13, o movimento do osso mandibular sem a presença dos estalos fez surgir um traçado que assume a forma de ondas de maior duração com mudanças verticais menos abruptas e de menor amplitude. Na mesma figura, pode-se ver sobreposto ao sinal do paciente sem estalos (cor azul), um outro paciente em repouso (cor preta).

Devido à pequena magnitude do sinal, com picos de $0,0912 \text{ m/s}^2$, o mesmo aparece quase como um ruído de fundo, plotado na cor preta.

4.13 COMPARAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA ENTRE DOIS GRUPOS.

O intervalo de confiança define os limites inferior e superior de um conjunto de valores que tem certa probabilidade de conter no seu interior o valor verdadeiro da variável estudada. Desse modo, o processo pelo qual um intervalo de confiança de 95% é calculado é tal que ele tem 95% de probabilidade de incluir o valor real do mensurando (SILVA; COUTINHO; MARCELO, 2005).

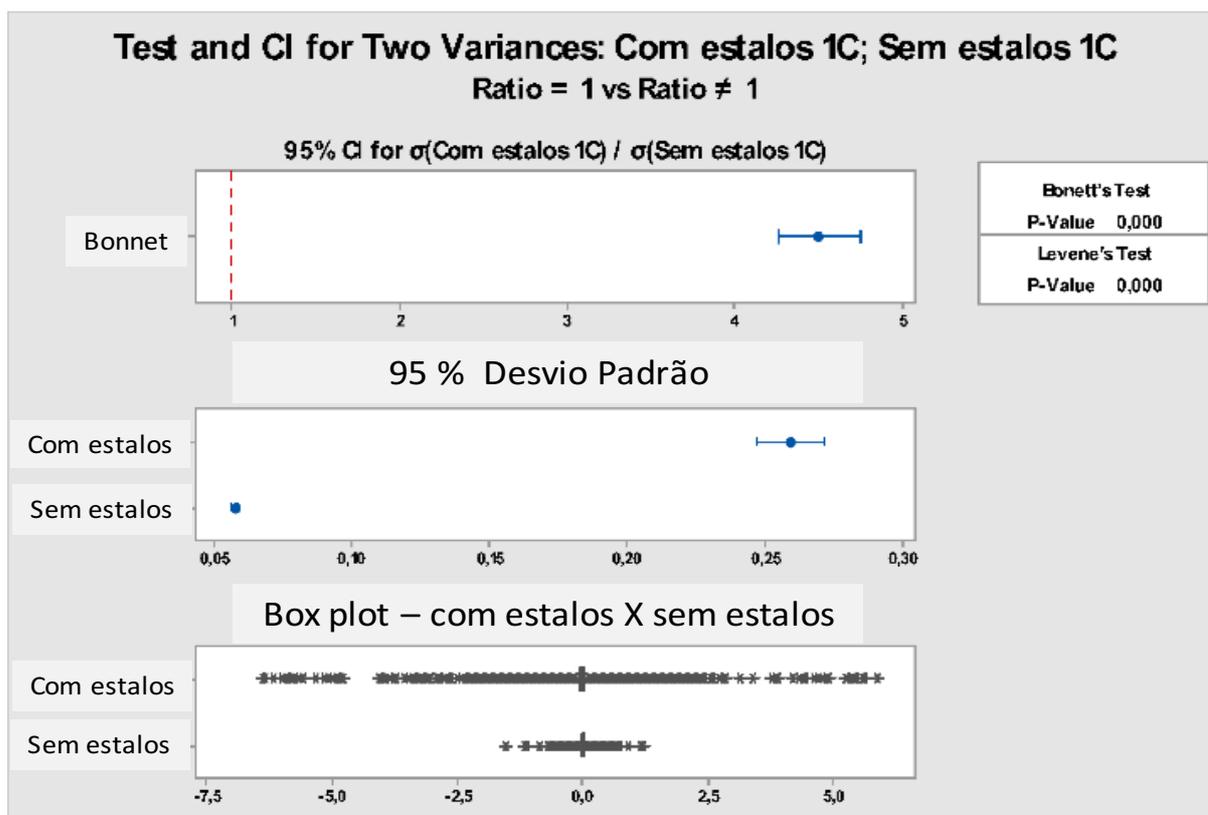


Figura 11 - Intervalo de confiança entre grupos com e sem estalos.

Fonte: Software Minitab

Foram analisados 22 pacientes com estalos na articulação e 32 sem estalos. Executou-se três medições por paciente resultando em 66 registros do grupo com estalos e 96 registros do grupo sem estalo.

Pelas limitações da planilha do *software*, os dados disponíveis foram limitados a algo em torno de 60.000 dados, o que deixou de fora os dados de alguns pacientes. Para o grupo com estalos 60.390 dados foram incluídos na análise e 4 pacientes foram excluídos. Para o grupo sem estalos 60.170 dados foram incluídos na análise e 7 pacientes foram excluídos.

Sendo um sinal de fase positiva e negativa muito próximas, a média e a mediana dos mesmos ficou em torno de zero como pode ser visto na Tabela 4 não sendo esse critério útil para diferenciação dos grupos. Portanto usou-se a variância e o desvio padrão para caracterizar os grupos. Através do *software* de análise estatística *Minitab*, os testes de *Bonett* e de *Levene* apresentaram um *p-valor* igual a zero como visto na Figura 11.

A hipótese nula, comumente designada por H_0 , é uma hipótese tida como verdadeira até que provas estatísticas indiquem o contrário. É corrente usá-la para afirmar que os parâmetros ou características matemáticas de duas ou mais populações são idênticos. O *p-valor* também é chamado de nível de significância e, quanto menor ele for, maior a evidência contra a hipótese nula. Seu valor varia entre 0 e 1 (ANDRIOTTI, 2005).

Conclui-se, portanto, com a análise da variância dos grupos, que a caracterização dos mesmos é inequívoca com 95% de confiança sendo a diferença entre eles estatisticamente significativa, *p-valor* igual a zero nos dois testes executados.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho partiu da hipótese de que o acelerômetro do aparelho celular pudesse ser sensível o suficiente para captar os sinais da articulação. Com a coleta dos dados e visualização dos resultados, constatou-se que não só era possível utilizar o aparelho celular como instrumento de medição, como também os resultados obtidos eram muito claros a ponto de diferenciar matematicamente os casos estudados. Com isso os resultados mostraram a viabilidade de tal hipótese.

Ficou claro também que uma interpretação isolada dos gráficos e tabelas pode induzir a erros de diagnóstico. Há casos, por exemplo, de indivíduos portadores de hiper mobilidade condilar, Gráfico 5, onde os movimentos da mandíbula emitem sinais em amplitude semelhante a estalos na articulação, todavia não são estalos. É mais do que aconselhável, portanto, realizar inicialmente um exame físico completo e só depois iniciar os exames complementares.

Em vista dos resultados obtidos e mediante a metodologia empregada, podemos concluir que:

É possível usar um aparelho celular para medir as vibrações emitidas pela Articulação Temporomandibular.

A presença dos ruídos articulares influenciou na amplitude, duração e frequência dos sinais coletados, sendo possível diferenciar os quatro grupos estudados.

A técnica facilitou a compreensão da dinâmica e dos padrões dos movimentos e ruídos articulares, e ainda permitiu parametrizá-los oportunizando seu acompanhamento futuro.

A média de pico de sinal de aceleração dos pacientes com estalos na articulação ficou em $1,35550 \text{ m/s}^2$ Tabela 4.

A média de pico de sinal de aceleração dos pacientes sem estalos na articulação ficou em $0,57881 \text{ m/s}^2$ Tabela 4.

A média de pico de sinal de aceleração dos pacientes em repouso ficou em

0,09324 m/s² Tabela 4.

Sendo seletivo o suficiente para diferenciar os grupos estudados o método apresenta-se como uma promissora plataforma para futuras pesquisas.

A técnica mostrou-se válida como um exame complementar da ATM com as seguintes vantagens: ser um exame não invasivo, de baixo custo e sem emissão de radiação ionizante.

Provou-se o conceito de utilização de equipamentos portáteis comerciais e de *softwares* livres ou pagos, em atividades de diagnóstico, com vantagens óbvias de custo e facilidade de apreensão dos recursos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução desta pesquisa foram observados vários pontos que podem ser melhor estudados em trabalhos futuros como:

A aplicação do protocolo RDC (Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders) para diferenciar os problemas de ATM e individualização das patologias: estalo, crepitação e deslocamentos de disco.

Outro importante ponto a ser analisado é a conversão dos sinais do espectro do tempo para o espectro da frequência nos diferentes grupos estudados. Acredita-se que diagnósticos mais específicos, tais como determinação da causa e gravidade dos estalos, possam ser atingidos com o estudo do espectro em frequência do sinal.

6 REFERÊNCIAS

ABRÃO, Andre Felipe. *Exame clínico e eletrovibratografia na detecção de deslocamento de disco articular: estudo comparativo*. 2009. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/23/23151/tde-17062009-170544/>>.

ALBERTAZZI, Armando Sousa; DE, André R. *Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial*. 3. ed. Barueri SP: Manole, 2013.

ALMEIDA, Jefferson Jesus Hengles. Utilizando acelerômetros para obtenção de parâmetros de movimentos em Equipamentos de Realidade Virtual. *Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel*, p. 3, 2012.

ANDRADE, Edivaldo Vaz De. *Tratamento das Desordens Temporomandibulares com Recursos Ortodônticos/Ortopédicos*. 2007. 74 f. Monografia Especialização, 2007.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. *Técnicas estatísticas aplicáveis a tratamento de informações oriundas de procedimentos laboratoriais*. Ministério de Minas e Energia - Superintendência Regional de Porto Alegre. Porto Alegre: [s.n.], 2005.

BRITO, Luana de Souza; CARINHENAS, Caio Fabre. Estudo do índice de Disfunção Temporomandibular (DTM) em pacientes da Clínica Infantil da Universidade Cidade de São Paulo. *Rev. odontol. Univ. Cid. São Paulo (Online)*, v. 22, n. 1, p. 12–18, 2010.

BUSANELLO-STELLA, Angela Ruviaro *et al.* Aspectos do Sistema Estomatognático de Indivíduos Bruxistas. *Salusvita*, v. 30, n. 1, p. 7–20, 2011.

COSTA, Andre Luiz; SHIBASAKI, Wendel. Utilização da imagem da ressonância magnética no diagnóstico das alterações da ATM. *Ortodontia SPO*, v. 48, n. June, p. 179–184, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Andre_Costa10/publication/277544190_Utilizacao_da_imagem_da_ressonancia_magnetica_no_diagnostico_das_alteracoes_da_ATM/links/556c4bd608aec2268303aea5.pdf>.

COSTA, Jessica Ellen da Sillva. *Estudo da correlação entre estalo articular e posição do disco da articulação temporomandibular pela ressonância magnética em pacientes diagnosticados como Disfunção Temporomandibular*. 2013. 90 f. Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, 2013.

DEREGIBUS, A *et al.* Diagnostic concordance between MRI and electrovibratography of the temporomandibular joint of subjects with disc displacement disorders. *Dentomaxillofacial Radiology*, PMID: 23420863, v. 42, n. 4, p. 20120155, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1259/dmfr.20120155>>.

FARIA, Gerson de Souza. *Identificação das teclas digitadas a partir da vibração mecânica*. 2012. 42 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-19072013-115909/>>.

FARSI, N. M. A. Symptoms and signs of temporomandibular disorders and oral parafunctions among Saudi children. *Journal of Oral Rehabilitation*, v. 30, n. 12, p. 1200–1208, 26 nov. 2003. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2842.2003.01187.x>>.

FERREIRA, Claudia Lúcia Pimenta; *et al.* Sinais e sintomas de desordem temporomandibular em mulheres e homens. *CoDAS*, v. 28, p. 17–21, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-17822016000100017&nrm=iso>.

FERREIRA, Flávio Basílio *et al.* Prevalência das desordens temporomandibulares em graduandos da Universidade Estadual de Ponta Grossa. *Arq Cent Estud Curso Odontol Univ Fed Minas Gerais*, v. 48, n. 1, p. 13–18, 2012.

FIGUEIREDO, Lúcia J. *et al.* *Aplicações de Acelerômetros*. 2007. Lisboa, Portugal, 19 Dezembro 2007, 2007.

FREIRE, Ricardo Dourado. Relação entre figuras rítmicas e valores numéricos na proporção entre andamentos musicais. *XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Música*, p. 796–801, 2006.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo:

[s.n.], 2009.

ISHIGAKI, S; BESSETTE, R W; MARUYAMA, T. Vibration analysis of the temporomandibular joints with degenerative joint disease. *Cranio: the journal of craniomandibular practice*, v. 11, n. 4, p. 276–283, out. 1993.

LEEuw, R. *Dor orofacial: guia de avaliação, diagnóstico e tratamento*. 4. ed. São Paulo: [s.n.], 2010.

MATHIE,; Narayanan; Dean M. Karantonis; Michael R.;Merryn; Nigel H. Lovell *et al.* Implementation of a Real-Time Human Movement Classifier Using a Triaxial Accelerometer for Ambulatory Monitoring. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE*, v. 10, n. 1, p. 156–167, jan. 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1573717/>>.

MELLO, José Luiz Pastore. *Matemática Construção e Significado*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2005.

MENDES, ANDRÉ AVELINO OLIVEIRA; OLIVEIRA, Bráulio Rodrigues França de; NEVES, Eduardo Borba. *Princípios de Acelerometria e suas Aplicações Biomédicas*. . Universidade Federal do Rio de Janeiro Programa de Engenharia Biomédica: [s.n.], [S.d.]

MILANI JUNIOR, Gabriel. *Análise das Vibrações em Exaustores de Fornos de Fábrica de Cimento para Identificar seus Modos de Falha*. 2012. 78 f. Monografia Especialização, 2012.

MIRSHAWKA, Victor. *Manutenção Preditiva - Caminho para zero defeitos*. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1991.

MORESCA, Ricardo; URIAS, Dayse. Estudo Epidemiológico dos Ruídos da ATM em Adultos Jovens Sul-Brasileiros. *Jornal Brasileiro de Oclusão, ATM e Dor Orofacial*, 2001.

MOTTA, Lara Jansiski *et al.* Avaliação dos ruídos da Articulação Temporomandibular em crianças com bruxismo. v. 17, n. 1, p. 111–116, 2015.

MÚCIO, Álvaro; LEITE DA SILVA. *Análise da intensidade e freqüências dos*

ruídos articulares da Articulação Temporomandibular. 2007. Universidade Estadual Paulista, 2007.

MUNIZ, Dayara Lacerda Borges; ANDRADE, Mário César De. Análise biomecânica das fases da marcha por acelerômetros. p. 9, 2012.

OKESON, Jeffrey P. *Dor Orofacial - Guia de Avaliação Diagnóstico e Tratamento*. [S.l.]: Santos, 1998.

OKESON, Jeffrey P. *Fundamentos de Oclusão e Desordens Temporomandibulares*. [S.l.: s.n.], 1992.

OLIVEIRA MAZZETTO, Marcelo *et al.* Characteristics of TMD Noise Analyzed by Electroviatography. *CRANIO®*, v. 26, n. 3, p. 222–228, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/crn.2008.030>>.

OLIVIERI, Karina Andrea Novaes *et al.* Joint vibration analysis in mandibular movements in asymptomatic volunteers. *Brazilian Dental Science*, v. 3, n. 2, p. 17–24, 15 jul. 2010. Disponível em: <<http://ojs.fosjc.unesp.br/index.php/cob/article/view/83>>.

PARK, J W *et al.* Correlation between clinical diagnosis based on RDC/TMD and MRI findings of TMJ internal derangement. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, doi: 10.1016/j.ijom.2011.09.010, v. 41, n. 1, p. 103–108, 6 dez. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2011.09.010>>.

PASINATO, Fernanda *et al.* Temporomandibular disorder and generalized joint hypermobility: application of diagnostic criteria. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, v. 77, p. 418–425, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-86942011000400003&nrm=iso>.

PRADA, Rodrigo. *Acelerômetro: O instrumento de interação do controle do Nintendo Wii*. . Campinas: [s.n.], 2009.

RODRIGUES, Janderson *et al.* Identificação das principais componentes de incertezas de calibração de acelerômetro piezoelétrico pelo método da comparação: Uma revisão atual. *Reserchgate.net*, 2014. , v. XXXIII, n. 2, p. 81–87.

SALINAS, Silvio R A. Einstein e a teoria do movimento browniano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, p. 263–269, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172005000200013&nrm=iso>.

SANO, T *et al.* Amplitude and frequency spectrum of temporomandibular joint sounds from subjects with and without other signs/symptoms of temporomandibular disorders. *Journal of Oral Rehabilitation*, v. 26, n. 2, p. 145–150, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2842.1999.00348.x>>.

SILVA, Evandro; COUTINHO, Freire; MARCELO, Geraldo. Conceitos básicos de epidemiologia e estatística para a leitura de ensaios clínicos controlados. *Rev Bras Psiquiatr.*, v. 27, n. 2, p. 146–151, 2005.

SINGIRESU, Rao. *Vibrações Mecânicas*. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2008.

VELAYOS, José Luis; Humberto Días Santana. *Anatomia da cabeça e pescoço*. 3. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2004.

VIEIRA, Leonardo Pereira; AGUIAR, Carlos Eduardo. *Experimentos com o acelerômetro de Tablets e Smartphones*. 2013. 20 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

WIDMALM, S E *et al.* The frequency range of TMJ sounds. *Journal of oral rehabilitation*, v. 30, n. 4, p. 335–46, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12631156>>.

WIDMALM, Sven E *et al.* Inaudible Temporomandibular Joint Vibrations. *CRANIO®*, doi: 10.1179/crn.2006.033, v. 24, n. 3, p. 207–212, 1 jul. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1179/crn.2006.033>>.