

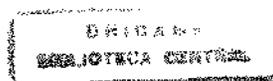
ROBERTO NATALINO RICARTE

**ANÁLISE DOS FENÔMENOS SONOROS ARTICULARES
DO JOELHO ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DIGITAL**

Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Piracicaba, Universidade
Estadual de Campinas, para obtenção do
título de Doutor em Biologia e Patologia
Buco-Dental.

PIRACICABA

1999



UNICAMP

ROBERTO NATALINO RICARTE

**ANÁLISE DOS FENÔMENOS SONOROS ARTICULARES
DO JOELHO ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DIGITAL**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutor em Biologia e Patologia Buco-Dental.

Orientador: Prof. Dr. Jacques M. E. Vielliard

Co-Orientador: Prof. Dr. Fausto Bérzin

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jacques M. E. Vielliard (presidente)

Prof. Dr. Carlos Roberto Hoppe Fortinguerra

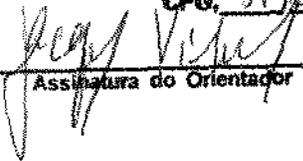
Profa. Dra. Débora Bevilaqua Grosso

Prof. Dr. Edson Duarte

Profa. Dra. Vanessa Monteiro Pedro

Este exemplar foi devidamente corrigido,
de acordo com a Resolução CCPG-036/83

CPG, 31/03/2000


Assinatura do Orientador

PIRACICABA

1999

UNIDADE: BC
REF. BIBLIOTECARIA:
T/UNICAMP
R357a
N.º: 4138I
PROB. 278/00
C. 12
PREÇO R\$ 11,00
DATA 06-07-00
N.º CPD

CM-00142414-7

Ficha Catalográfica

R357a Ricarte, Roberto Natalino.
Análise dos fenômenos sonoros articulares do joelho através de processamento digital. / Roberto Natalino Ricarte. —del s. — Piracicaba, SP : [s.n.], 1999.
186f. : il.

Orientador : Prof. Dr. Jacques M.E. Vielliard.
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

I. Articulações. 2. Joelho. 3. Som. I. Vielliard, Jacques M.E.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba / UNICAMP.



FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de DOUTORADO, em sessão pública realizada em 10 de Dezembro de 1999, considerou o candidato ROBERTO NATALINO RICARTE aprovado.

1. Prof. Dr. JACQUES MARIE EDME VIELLIARD

2. Profa. Dra. VANESSA MONTEIRO PEDRO

3. Profa. Dra. DEBORA BEVILAQUA GROSSO

4. Prof. Dr. CARLOS ROBERTO HOPPE FORTINGUERRA

5. Prof. Dr. EDISON DUARTE

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu caro amigo Prof. **Jacques Marie Edme Vielliard**, Professor Titular do Departamento de Zoologia da Faculdade de Biologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, por ter oferecido o laboratório de Bio-acústica, disponibilizando o uso de todo equipamento envolvido nesta pesquisa e por ter acompanhado passo-a-passo o seu desenvolvimento, me orientando com paciência e objetividade, possibilitando enfim a sua execução.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao caro Prof. **Fausto Berzin**, Professor Titular do Departamento de Morfologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, que já acompanha a minha formação acadêmica há um bom tempo, sempre demonstrando a mesma sinceridade, alegria, colaboração e amizade. Obrigado professor por mesmo estando "do outro lado do rio" ter auxiliado no desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao Prof. **Antônio Marcos de Lima Araújo**, engenheiro eletricitista, Professor Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará – CEFET/PA, que oferecendo espontaneamente seu conhecimento, e dedicando seu tempo, paciência a amizade, muito colaborou na execução deste trabalho.

“ Quantas palavras forem, estas não serão suficientes para expressar o meu agradecimento (só mesmo um pato no tucupí e um sorvete de açaí)”.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Dr. **João Francisco Marques Neto**, Professor Titular de Reumatologia das Faculdades Médicas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP), pela boa vontade em colaborar nesta pesquisa selecionando os pacientes reumáticos.

Ao amigo Prof. Dr. **José Roberto Ortale**, Professor Titular do Departamento de Ciências Morfológicas (Anatomia) do Instituto de Ciências Biológicas e Química da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP), pelo incentivo e acompanhamento solidário, durante toda a “travessia”.

À amiga Profa. **Miralva Aparecida de Jesus**, Coordenadora do Departamento de Ciências Morfológicas do Instituto de Ciências Biológicas e Química da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP), um exemplo de paciência, bondade e amor à profissão.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Darcy de Oliveira Tozello, digníssima coordenadora do Curso de Pós-graduação em Biologia e Patologia Buco-Dental da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP.

À Profa Ana Maria Chirelli, Professora Titular do Departamento de Distúrbios da Comunicação da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP), pela colaboração prestada na trajetória final desse trabalho.

Aos professores do Curso de Biologia e Patologia Buco-Dental da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pelos conhecimentos transmitidos.

À boa amiga Francisca C. R. da Silva Araújo pela grande ajuda oferecida, acompanhando de pertinho o desenrolar do curso e ao Leo, “o filhão”, pelo socorro prestado de vez em quando no computador.

À Helenice Nakamura e Sílvia Fernanda B. Badur Curi, Fonoaudiólogas do Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas de Campinas (UNICAMP), por cederem a sala acústica do Departamento colaborando na execução da parte prática deste trabalho.

Aos atendentes Leví Custódio Alves e Adélia Silva Francisco do Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas de Campinas (UNICAMP), por ajudarem na seleção dos voluntários junto aos acompanhantes dos pacientes no Departamento.

Ao CAPES/PICDT (Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica) pelo apoio financeiro oferecido durante a execução desta pesquisa.

“IMPLOREMOS CONTINUAMENTE ESPÍRITO INFINITO

SABEDORIA

INSPIRAÇÃO

E LUZ

PARA A NOSSA INTELIGÊNCIA “

- oyashikiry -

SUMÁRIO

RESUMO _____	03
ABSTRACT _____	07
INTRODUÇÃO _____	11
REVISÃO DA LITERATURA _____	19
MATERIAL E MÉTODOS _____	39
RESULTADOS _____	55
DISCUSSÃO _____	109
CONCLUSÕES _____	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	131
ANEXOS _____	137

RESUMO

RESUMO

ANÁLISE DOS FENÔMENOS SONOROS ARTICULARES DO JOELHO ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DIGITAL

Autor: Roberto Natalino Ricarte

Orientador: Prof. Jacques Marie Edme Vielliard

Este estudo teve como objetivo investigar, utilizando-se da artrosonografia, os fenômenos sonoros articulares do joelho, através de processamento digital. Participaram da pesquisa, duzentos e quinze (215) voluntários de ambos os sexos, com idades entre 10 a 75 anos, sendo que destes, cento e quarenta e cinco (145) relataram a ausência de qualquer tipo de disfunção articular e setenta (70) eram portadores de doenças reumáticas.

As gravações dos sons articulares do joelho foram obtidas através da utilização de um microfone de condensador ultradirecional "Sennheiser" e de um gravador analógico Kudeslki S.A, em uma sala acústica do Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Posteriormente as gravações foram tratadas e analisadas no laboratório de Bio-acústica do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia da UNICAMP.

Neste estudo, em princípio, tanto os indivíduos sem história de disfunção articular, classificados como portadores de joelhos "assintomáticos", quanto os indivíduos portadores de doença reumática, classificados como portadores de joelhos

“sintomáticos”, foram analisados como fazendo parte de uma amostra comum, devido ao fato de que no momento, este estudo se preocupou apenas em identificar, reconhecer e analisar os fenômenos sonoros articulares observados.

Do total da amostra, observou-se joelhos com um padrão articular silencioso, nos quais ocorreu uma ausência completa de qualquer fenômeno sonoro audível e joelhos com padrão articular fraco, médio e forte, estes classificados de acordo com a maior ou menor quantidade de fenômenos sonoros presentes nas gravações.

Com relação ao tempo, foram observados fenômenos sonoros de curta duração: o estalido, o estalo e o baque articular e de longa duração, a crepitação articular.

Os fenômenos sonoros articulares observados no joelho em movimento, foram analisados em função de três parâmetros: a sua **forma de onda**, o seu **espectro de frequência** e a sua **densidade espectral de potência**, esta, somente para aqueles de curta duração.

Ficou demonstrado através dos resultados obtidos neste estudo, que a utilização da técnica artrosonográfica para a gravação dos sons articulares é eficiente, permitindo caracterizar adequadamente os fenômenos sonoros articulares do joelho. Para o propósito desta pesquisa, o microfone de fato, se mostrou um instrumento eficiente e adequado, durante as gravações na aquisição do som articular do joelho, isto porque ele registra todas as suas características intrínsecas, permitindo identificar cada fenômeno sonoro de sua composição com clareza.

Palavras-chaves: Articulações, Joelho, Som.

ABSTRACT

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE KNEES ARTICULAR SONOROUS PHENOMENA USING DIGITAL PROCESSES

The purpose of this study is to investigate the knees articular sonorous phenomena, through arthrosonography, using digital processes.

Two hundred and fifteen (215) volunteers, of both sexes, with ages varying between 10 and 75, participated in this study. From this total, 145 volunteers didn't have a historic of articular diseases and 70 had rheumatic diseases.

The recording of the knees articular sounds was obtained in an acoustic chamber, using a Sennheiser ultradirectional condenser microphone and a Kudelski analogic tape recorder.

The recordings were subsequently transferred to a Taskam digital tape recorder and then to a microcomputer, in order to be handled and analyzed.

The results obtained indicated that both the knees of the volunteers without articular diseases (assymptomatic knee) and the ones of those with rheumatic diseases (symptomatic knees) could be included in a common classification. This is due to the

fact that the purpose of this study was only to identify, recognize and analyze the articular sonorous phenomena observed.

Concerning the time scale, during the knee movement, articular sonorous phenomena of short duration, such as claps, cracks and thuds, could be observed. In these cases, the duration of the sound remained between 0.02 and 0.04 seconds. Sonorous long time knee phenomena, with duration of about 1.0 second, such as articular crepitation, were present.

Knees were classified as "*sonorous silence type*", when the total absence of articular sonorous phenomena was registered by the microphone in the recordings. Knees were classified as "*weak, medium and strong sonorous type*" depending on the minor or major presence of articular noises in the recordings.

Three parameters were used in the analysis of those articular sounds: waveforms, frequency noise spectrum and potential spectra density. The potential spectra density was used only to analyze short time phenomena.

The results of this study showed that the arthrosonography technique is a good tool for recording and analyzing articular sounds produced during the knees movements, allowing a good characterization of articular sonorous phenomena.

For the purpose of this study, the microphone proved to be a good transducer in terms of frequency and dynamic sensitivities, for utilization in human joint emissions, since it captures all the characteristics of the articular sounds, allowing the identification of each acoustic phenomenon through its spectral composition.

Key words: joints, knee, sound.

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

O estudo dos sons articulares através da artrosonografia é um método não-invasivo de análise, que usa um microfone como sensor. Este método vem se desenvolvendo com o objetivo de identificar as características sonoras intrínsecas dos fenômenos acústicos, gerados pelas articulações sinoviais em movimento, e de aplicar este conhecimento na clínica médica. É uma técnica de análise ainda em estudo relativamente simples e que detecta, utilizando-se de equipamentos modernos, os fenômenos sonoros articulares através da "auscultação eletrônica".

Devido à escassez de estudos referentes a este assunto, observa-se que os sons emitidos pelas articulações são pouco conhecidos no meio científico. Entretanto, desde as primeiras publicações, onde os pesquisadores utilizavam o estetoscópio como instrumento de percepção acústica, nota-se que sempre houve uma preocupação de se encontrar uma aplicação prática para este conhecimento.

Assim como se sucedeu em relação aos sons cardíacos e pulmonares, que há muito tempo são usados na clínica médica como uma ferramenta auxiliar de grande utilidade no diagnóstico de diversas doenças relacionadas a estes dois órgãos, os sons articulares podem, da mesma forma, vir a ser utilizados na detecção das condições anatomo-fisio-patológicas das diversas articulações sinoviais do corpo humano. Entretanto, há a necessidade de se estabelecer critérios que sejam comprovados e aceitos cientificamente para que a artrosonografia seja efetivamente utilizada.

Referências ou citações quanto à análise dos sons articulares são escassas, e os trabalhos publicados até o momento abordando este assunto, também são muito raros e intercalados por períodos relativamente longos. É possível, para efeito cronológico, separar o estudo dos sons articulares em dois períodos: o primeiro, onde os pesquisadores usaram o estetoscópio como instrumento de auscultação direta das articulações, fazendo, portanto, uso de uma forma subjetiva de análise, a audição; e o segundo, que deu início a uma nova fase nesta área de estudo, através da introdução de equipamentos eletrônicos nas pesquisas.

HEUTER (1885) e WALTERS (1929), respectivamente, marcaram o início e o término deste primeiro período e ERB, em 1933, utilizou pela primeira vez um microfone de contato para captar nas articulações analisadas, o que ele chamou de “estranhos sons minimizados”. A partir deste momento, a técnica artrosonográfica ganhou um novo impulso e continuou a se desenvolver de acordo com a própria evolução tecnológica relacionada à eletrônica.

CHU e col., em sua pesquisa de 1978, contribuíram para o desenvolvimento da técnica artrosonográfica, introduzindo o uso do computador na análise dos sinais acústicos articulares, que passaram então a ser digitalizados, facilitando em muito o seu monitoramento.

MOLLAN e col. (1982) publicaram um artigo, fazendo uma avaliação crítica da técnica artrosonográfica, procurando demonstrar que o uso do microfone é impróprio para a aquisição dos registros sonoros articulares. Os autores afirmaram que o microfone é um transdutor pobre em termos de resposta de frequência e sensibilidade dinâmica, para ser usado na captação da emissão sonora articular, devido à grande

impedância acústica, de modo que haveria muitas dificuldades para se excluir das gravações os ruídos extrínsecos não articulares.

Em 1983, MOLLAN e col. publicaram um novo artigo introduzindo nesta área de pesquisa o uso do acelerômetro, um sensor de contato, que funciona como um transdutor eletromecânico das vibrações sonoras articulares. Os autores observaram que a emissão vibratória das articulações em movimento apresenta uma grande concentração de energia no limite inferior do espectro. Sendo assim, para os níveis dinâmicos da emissão articular, ocorridos nas baixas frequências, o microfone, como um sensor, seria inadequado e impreciso. Além disto, chamam também a atenção para o fato de que as limitações impostas pelos circuitos do pré-amplificador e do gravador, devido às baixas frequências, indicam que um sistema microfônico seria impróprio para validar uma investigação clínica. Os autores afirmaram ainda que o microfone é um instrumento inadequado para a obtenção dos registros sonoros articulares, uma vez que, durante as gravações, também captavam ruídos derivados da fricção da pele e ruídos do meio ambiente.

Somando-se a isso, a resposta em frequências e o alcance dinâmico dos microfones não eram suficientes para a captação das baixas frequências observadas regularmente nas articulações humanas, uma vez que eles são construídos para captar frequências mais altas.

Contrariando as afirmações de Mollan e col., em 1987, RICARTE abordando o tema da artrosonografia, utilizou em sua pesquisa um microfone na gravação dos sinais articulares de joelhos. Baseado na amplitude dos fenômenos acústicos observados nas

gravações analisadas, identificou três padrões sonoros articulares: suave, moderado e intenso.

A articulação do joelho, de todas as articulações sinoviais, é a que mais apresenta comprometimentos no corpo humano. Através de uma estimativa relacionada às doenças articulares, JACKSON e ABE, num artigo de 1972, constataram que entre 65 a 75% das consultas ortopédicas relacionam-se à problemas no joelho.

Os trabalhos desenvolvidos até o momento sobre a artrosonografia do joelho são escassos. De acordo com a literatura, vários estudos foram publicados a partir de 1984 sobre a análise dos sons articulares, podendo ser citados: McCOY e col. (1987) e TAVATHIA e col. (1992), os quais passaram a utilizar o acelerômetro em suas pesquisas, tomando como referência somente a emissão vibratória articular, ou seja, as emissões subsônicas. Dessa forma, iniciou-se um novo campo de pesquisa na área de análise dos sons articulares concentrado somente nas baixas frequências, ignorando as emissões vibratórias sonoras.

Considerando o estágio dos trabalhos sobre este tema, o objetivo desta pesquisa é a de retomar o estudo dos sons articulares do joelho através da artrosonografia. Atualmente, embora estes possam ser registrados pelo microfone e armazenados digitalmente, eles ainda não foram definidos com clareza, nem classificados objetivamente e documentados.

Este estudo se propõe também a mostrar de uma forma objetiva os fenômenos sonoros articulares, através de suas características particulares, demonstrando-os em relação aos três parâmetros fundamentais no estudo do som: a forma de onda, o espectro de frequência e a densidade espectral de potência.

Os fenômenos sonoros articulares aqui observados são os mesmos que normalmente são encontrados na literatura, os quais apresentam características sonoras diferentes, traduzidas acusticamente na forma de baque, estalo, estalido e crepitação articular. Estes sinais, pelas suas particularidades intrínsecas, após a devida análise, são aqui descritos de forma metódica e criteriosa, ficando demonstrado que uma certa quantidade de energia gerada por eles, encontra-se situada em diversas faixas de frequência, que muitas vezes se estendem até o nível superior de resposta do microfone utilizado nas gravações, o qual é de 20.000 Hz, atingindo portanto a faixa de ultra-som.

A presença das altas frequências nestes sinais não pode ser ignorada, pois ela faz parte da energia total do sinal, mesmo que a maior concentração dessa energia esteja distribuída nas baixas frequências.

REVISÃO DA LITERATURA

REVISÃO DA LITERATURA

A técnica da auscultação imediata é conhecida como um dos métodos mais antigos de diagnóstico. É sabido que antigamente ela era praticada por um pequeno número de médicos, mesmo antes da descoberta do estetoscópio, sem no entanto fazer parte do exame regular dos pacientes.

BISHOP (1980) em sua publicação, faz referências quanto ao uso da auscultação imediata dos sons respiratórios nos Vedas Hindus no período de 1.400 a 1.200 a.C., nos escritos clássicos de Hipócrates, De Morbis, onde se lê: “ você ouvirá, colocando a orelha no tórax”, o que deixa evidente que a auscultação imediata foi usada há mais de vinte séculos passados. O autor citou outros pesquisadores da antiguidade que também fizeram referências quanto ao uso da auscultação imediata, como: Caelius Aurelianus, no ano 500 a.C., Leonardo Da Vinci, Ambroise Paré. O autor ainda comenta sobre a origem do estetoscópio, relatando que este, foi inventado por Laennec em 1816, ainda de uma forma primitiva e que através dos tempos, continuou sendo por ele desenvolvido, não tendo sido, no entanto, aceito pelos médicos de imediato.

Como pode ser notado, o estetoscópio já há muito tempo ocupa um lugar importante na arte da medicina, se encontrando intimamente ligado à imagem do médico. Através da auscultação, examinam-se as funções e condições de órgãos relacionados, por exemplo, aos sistemas respiratório, circulatório e digestivo, utilizando-se dos sons por eles produzidos. E como não poderia deixar de ser, a história sobre o estudo dos sons articulares, teve do mesmo modo a sua origem através da utilização

desse instrumento de construção aparentemente simples e de tão grande importância, o estetoscópio.

HEUTER (1885) foi o autor que publicou o primeiro relato, mencionando o uso da auscultação de articulações patológicas através do uso de um estetoscópio, procurando fazer um diagnóstico das doenças articulares. Em uma de suas observações ele relatou estar interessado em localizar "corpos estranhos" perdidos na articulação do joelho. Para isso, ele construiu um estetoscópio, modificando-o e adaptando-o às suas necessidades e o chamou de "miodermato-osteofone".

BLODGETT (1902) relatou ter observado diferentes tipos de sons nas diversas articulações do corpo humano por ele analisadas, construindo um estetoscópio adaptado a um diafragma de borracha. Neste estudo, o autor menciona ter auscultado 100 casos de indivíduos portadores de joelhos normais e patológicos, fazendo, uma classificação em três categorias de joelhos, somente em relação aos casos normais. A primeira e mais comum, ocorreu na maioria dos joelhos. Nela, foi observada a presença de ruídos que se assemelhavam a um chiado fraco, além de pequenos estalidos. A segunda categoria, incluía ruídos discordantes de aspecto grosseiro e áspero, e a terceira, com um número menor de ocorrências, apresentava um ruído semelhante a um chiado de suave sonoridade. O autor também relatou ter observado, com mais evidência, ruídos discordantes, rangidos e estalos em articulações de pacientes reumáticos portadores de artrite crônica.

LUDLOF (1906), auscultando sistematicamente diversas articulações do corpo humano, tais como: joelho, coluna vertebral, sacro e pelve, relatou ter observado a

presença de ruídos semelhantes a estalos e estalidos, sugerindo que seria possível fazer o diagnóstico de artrite crônica baseando-se nestas observações.

BIRCHER (1913), usando um estetoscópio, foi o primeiro autor a relatar o diagnóstico de lesões de menisco, baseado na auscultação do joelho. Em sua publicação ele afirma que o diagnóstico de lesão meniscal em muitos casos é bastante difícil. Em casos de lesão duvidosa, observou que uma auscultação sistemática do joelho mostrou-se vantajosa, sendo porém impossível descrever um ruído característico para o menisco comprometido. Em casos clínicos muito evidentes, em que o menisco está solto em sua base, observou que no momento do descolamento, ouve-se, até sem a ajuda do estetoscópio, um espipocar muito forte e nítido. Em observações com relação ao joelho sadio, o autor descreve que durante a sua movimentação ativa ou passiva quase não se nota a presença de ruídos, só um ligeiro espipocar, e assim mesmo se o movimento for forçado. Entretanto, em um joelho lesado, mesmo sendo movimentado vagarosamente, ouve-se um ruído roçante ou rangente, que se torna espipocante, quanto mais forçado for o movimento.

WALTERS (1929), com o objetivo de confirmar o valor da auscultação das articulações, relatou ter observado 1.600 articulações do corpo humano utilizando-se de um estetoscópio. As observações se deram em indivíduos portadores de articulações normais e patológicas, de ambos os sexos, com idade variando entre 10 e 80 anos. Dentre elas, foram auscultadas articulações do pulso, cotovelo, ombro, joelho e a articulação têmporo-mandibular. Todas as articulações foram examinadas através de movimentação passiva, e como resultado de experiências anteriores, o autor desenvolveu uma classificação para os ruídos articulares utilizando a percepção

auditiva, levando em consideração a altura dos ruídos auscultados e suas características sonoras. O autor classificou as articulações em cinco tipos: suave, onde não se percebia qualquer som audível; áspero, som fraco e pouco audível; rangente I, som crepitante semelhante ao roçar do cabelo entre os dedos; rangente II, som crepitante ruidoso e áspero, percebido inclusive na palpação; rangente III, som crepitante muito forte e áspero, audível mesmo sem o uso do estetoscópio. Ele também relatou ter observado um aumento gradual na intensidade dos ruídos articulares de acordo com o avançar da idade, sugerindo que ruídos suaves e discordantes seriam um sinal precoce de doenças artríticas, mesmo na ausência de sintomas.

ERB (1933) realizou as primeiras "auscultações eletrônicas" dos ruídos articulares, usando um microfone de contato e um amplificador acoplado a um osciloscópio. O autor relatou ter realizado diversas gravações em que foram captados "estranhos sons minimizados". Estas gravações foram apresentadas graficamente, sendo obtidas de indivíduos portadores de doenças articulares do joelho, como condromalácia, artrite deformante e lesões de menisco. As gravações dos joelhos com lesão de menisco se caracterizavam por se situarem na faixa das baixas frequências. O autor não faz nenhum comentário à respeito dos ruídos gravados e analisados das articulações dos indivíduos portadores de joelhos normais.

STEINDLER (1937) desenvolveu o seu estudo, aplicando sua técnica em relação aos fenômenos sonoros observados junto ao aparelho locomotor, como: músculos, tendões e articulações, com o propósito de diagnóstico. O autor relatou ter praticado durante vários anos a auscultação sistemática das articulações humanas, utilizando-se de um estetoscópio comum. Sua opção, no entanto, foi pela articulação do joelho,

devido à maior facilidade em perceber os ruídos. Mais tarde procurou melhorar sua técnica através de um aparelho eletrônico por ele desenvolvido, denominado de “cardiofone”. Este aparelho era construído pela adaptação de um microfone de cristal, conectado a um pequeno sino de metal com um diafragma de borracha em seu bocal. Foram executadas gravações das ondas sonoras provenientes da passagem dos ruídos articulares através do cardiofone, cujos sinais elétricos amplificados foram analisados em um oscilógrafo. O autor chamou a atenção para dois grandes problemas na interpretação dos fenômenos sonoros articulares observados: a dificuldade em se eliminar os sons extra-articulares das gravações, e a dificuldade em localizar com precisão o ponto exato da origem do fenômeno sonoro na articulação. Um filtro foi conectado a um amplificador, o qual eliminava dos registros gravados frequências situadas abaixo de 130 Hz. Isto tinha o propósito de cancelar o efeito sonoro causado pelo tremor da sua mão, enquanto segurava o microfone durante a realização das gravações. Foram analisados 62 casos em indivíduos de ambos os sexos, sendo estes, crianças, adultos e idosos, todos portadores de joelhos normais. O autor relatou ter observado em crianças abaixo de dez anos, adolescentes e adultos jovens, uma predominância de joelhos silenciosos e em adultos de meia idade, joelhos ruidosos de aspecto discordante, de sonoridade forte, mais ou menos intensa. O autor referiu em seu trabalho ter encontrado dificuldades na interpretação dos fenômenos sonoros, devido à presença de ruídos estranhos às gravações, provenientes muitas vezes do meio ambiente, comentando também que estes ruídos precisavam ser melhor diferenciados dos ruídos intrínsecos, gerados pela própria articulação. Estes fatos o levaram à conclusão de que a técnica por ele utilizada ainda não permitia, com

segurança, fazer uma distinção entre os elementos que compunham o som gerado na gravação como um todo e qual a origem da fonte sonora de cada fenômeno sonoro observado. Entretanto, ele acreditava que a auscultação do joelho fornecia, definitivamente, uma ajuda no diagnóstico de doenças articulares, mais particularmente, em casos de lesões dos meniscos e também no diagnóstico diferencial em pacientes portadores de artrite reumatóide e artrite degenerativa.

PEYLAN (1953), em seus estudos sobre os ruídos articulares, examinou diversas articulações do corpo humano através da auscultação, utilizando-se de um estetoscópio, notando que durante determinados exames clínicos em seus pacientes, cada articulação, durante a movimentação, produzia um som distinto e exclusivo. Por este motivo, e reconhecendo as limitações fisiológicas da orelha humana, desenvolveu um equipamento eletrônico de alta sensibilidade: um estetoscópio eletrônico, acoplado a um amplificador. O autor estava convicto de que os sons articulares por ele observados apresentavam uma sonoridade particular, e que os mesmos se correlacionavam com as alterações articulares previamente diagnosticadas por ele. Em sua pesquisa, foram analisados mais de 1.500 indivíduos, sendo que dentre estes, 465 foram considerados normais, ou seja, indivíduos saudáveis, os quais relataram não apresentar nenhum sintoma clínico reumático. Foram diagnosticados 321 casos patológicos, e destes, ficou claro que em 166, os fenômenos acústicos auscultados se correlacionavam com a doença diagnosticada e com os resultados clínicos confirmados por outros métodos. Entretanto, em sua pesquisa, o autor não faz comentários quanto às suas observações relacionadas aos ruídos articulares normais, especialmente em relação à articulação do joelho.

FISCHER e JOHNSON (1960) auscultaram os ruídos articulares dos joelhos de 75 indivíduos de ambos os sexos, sendo 25 adultos normais, 25 portadores de artrite reumatóide e 25 de osteoartrite. Os autores utilizaram-se de um microfone de contato, um gravador e um amplificador acoplados a um osciloscópio. Foram comparados entre os três grupos, o padrão da forma de onda gerada, a produção de energia pelo sinal e a sua distribuição de frequência. O resultado obtido nas gravações dos joelhos normais foi caracterizado pela uniformidade das ondas geradas, que apresentaram um padrão regular relativo tanto na sua intensidade quanto na frequência. Os autores concluíram que isto era devido à influência dos tecidos moles circundantes à articulação, pois estes causavam um efeito de abafamento constante nas gravações. Além disso, observaram também um pequeno aumento na frequência dos ruídos articulares para o grupo de pessoas mais idosas. As gravações dos joelhos normais foram comparadas com as gravações dos joelhos patológicos e diferenças marcantes foram notadas. Na artrite reumatóide, notaram que todo o padrão sonoro articular estava alterado, enquanto que nos joelhos portadores de osteoartrose, ocorreram picos de onda de alta amplitude, que se sobrepunham às ondas de padrão normal.

OEHL e col. (1974), em sua pesquisa sobre os ruídos articulares, afirmavam que a ajuda da artrosonografia para o diagnóstico das doenças articulares era incontestável. Os autores utilizaram um microfone de cristal, devido à sua grande capacidade de produzir uma alta ressonância e frequência, um amplificador acoplado a um microfone, um medidor do ângulo de movimento para ordenar os ruídos articulares, além de um gravador, no qual foram registradas as ondas sonoras. As gravações foram feitas em diversas articulações do corpo humano, como joelho, quadril e ombro, assim como

sobre os tendões, o que denominaram de tendosonografia. Os autores realizaram seus estudos preocupados unicamente em confirmar a viabilidade da aplicação desta técnica. OEHL e col. concluíram que na articulação do joelho em movimento, as gravações não produziram um som de boa qualidade, alegando que este fato se devia às diferenças nas camadas da tela subcutânea, no líquido sinovial e nos tendões, pois estas estruturas são péssimas transmissoras dos sons. Entretanto, concluíram que a artrosonografia é uma técnica de gravação dos ruídos articulares de boa aplicabilidade, pois ela permite fazer uma rápida observação na função articular, podendo auxiliar como um instrumento promissor no diagnóstico e controle das doenças articulares, com o objetivo de estudar os ruídos articulares, e mais especificamente os ruídos da articulação do joelho.

CHU e col. (1976a, 1976b, 1978a, 1978b) publicaram uma seqüência de artigos referentes à utilização da técnica artrosonográfica em suas pesquisas. Os autores utilizaram para a aquisição de suas gravações um microfone de condensador de precisão, com baixa resposta de freqüência, este alimentado por um amplificador diferencial acoplado a um analisador de freqüência, e também de um osciloscópio. Além disso, introduziram neste campo de pesquisa, o uso do computador para a análise dos sons gravados. Estes sons uma vez gravados e amplificados foram digitalizados, sendo então arquivados para estudos posteriores.

O propósito de suas pesquisas foi o de reconhecer as possibilidades do uso da técnica artrosonográfica na detecção dos ruídos articulares de joelhos em condições normais e patológicas. Os autores observaram que a aplicação dos resultados obtidos da análise das vibrações sonoras em outros ramos da ciência, como a geologia,

engenharia e a própria medicina, era a solução para muitos de seus problemas e concluíram que a técnica artrosonográfica poderia ser aplicada com êxito no desenvolvimento de um método prático de avaliação nas enfermidades articulares. Os dados obtidos em relação aos fenômenos sonoros gravados foram estudados através de três parâmetros de análise: espectro de frequência, função de auto-correlação e forma de onda do sinal. Alguns de seus resultados sugeriram que a técnica artrosonográfica tornava-se um instrumento promissor no diagnóstico não-invasivo para a detecção prematura de alterações na superfície da cartilagem articular do joelho. Contudo, observaram que os diferentes tipos de sons articulares gravados possuem suas características sonoras e visuais próprias e traduzem a condição funcional normal ou patológica da articulação analisada.

Para os autores, o som articular emitido pelo joelho durante o movimento, produz uma vibração sonora única e específica, que nos casos patológicos, tem uma correlação direta entre o seu conteúdo energético e a severidade do dano cartilágneo daquela articulação. Além disso, permite também, reconhecer a condição funcional normal do joelho. Contudo, CHU e col. propuseram que a técnica artrosonográfica continuasse sendo estudada, para ser melhor avaliada e aí então poder vir a ser utilizada na clínica médica. Os autores concluíram que ficava evidente que o estudo do som articular, obtido com a ajuda das técnicas eletroacústicas e também com a utilização do conteúdo energético proveniente do atrito provocado pela articulação em movimento, somado agora ao uso do computador, auxiliou sobremaneira no processamento e análise deste som, tornando-se de fato, instrumentos não-invasivos promissores no estudo da artrosonografia.

MANG e col. (1980) analisaram as articulações de joelhos normais e patológicos, usando a auscultação através da técnica artrosonográfica. Os sons articulares gravados foram filtrados e arquivados digitalmente, para então serem analisados por um processador de sinais. Os resultados obtidos das análises relativas aos sons articulares dos joelhos normais não foram comentados pelos autores, que também não forneceram informações subjetivas sobre os mesmos, alegando o fato de que os sons articulares por eles captados não eram suficientemente significantes para que fossem feitas análises mais detalhada sobre os mesmos. Isto se deve ao fato de que os elementos articulares e os tecidos moles circundantes da articulação não eram bons transmissores sonoros. Com relação aos ruídos articulares dos joelhos patológicos, os autores comentam em seus resultados que estes são específicos para cada tipo de doença articular, havendo uma correlação entre o ruído observado com a doença diagnosticada.

Os autores se convenceram de que a artrosonografia, como técnica de análise acústica não-invasiva, oferecia grandes possibilidades no estudo dos ruídos articulares. A aplicação desta técnica permitiu aos autores constatar a presença de corpos estranhos no interior de algumas das articulações analisadas, além do reconhecimento de doenças reumáticas, lesões de menisco, da cápsula articular e dos ligamentos articulares. Além destas observações, colocaram a técnica artrosonográfica como sendo objetiva e promissora aos anatomistas e patologistas, para o desenvolvimento de novas pesquisas no diagnóstico das doenças articulares.

MOLLAN e col. (1982, 1983) afirmaram que a tentativa de utilizar a emissão sonora como uma técnica de diagnóstico para as doenças relacionadas ao sistema

articular, foi o motivo para que começassem a desenvolver um estudo nesta linha de pesquisa. Os autores comentam que, embora vários trabalhos já tivessem sido publicados com o intuito de auxiliar no desenvolvimento da técnica artrosonográfica para se obter parâmetros de medida seguros de análise do som articular, nenhum deles ainda havia sido aprovado para ser utilizado na clínica médica. Isto se devia às dificuldades ainda existentes em se excluir das gravações os ruídos produzidos pela fricção da pele e pêlos em contato com o microfone, além daqueles advindos do próprio ambiente de gravação ou também do equipamento utilizado.

Os autores desenvolveram sua pesquisa analisando os sons articulares de joelhos normais e patológicos, e os seus resultados foram obtidos através de um analisador de frequências. Inicialmente, procuraram reconhecer, além do som articular, o nível de energia gerado na sala de gravação. Buscaram também reconhecer o nível de energia produzido pelo equipamento utilizado e aquele gerado pela fricção da pele em contato com o bocal do microfone, durante a movimentação articular. Um dos resultados encontrados, foi que o nível de energia dos sons articulares gravados de articulações normais, de um movimento geral, estava bem próximo dos limites inferiores do espectro de frequência. Entretanto, para as articulações patológicas, este nível aumentava significativamente.

Para os autores, muitas das respostas encontradas até então pelos pesquisadores que os antecederam, eram válidas. No entanto, alegavam haver uma insuficiência de dados para promover uma melhor apreciação das informações obtidas pelos meios eletrônicos, isto devido às limitações de detecção impostas pelo próprio equipamento utilizado. Além disso, uma das observações dos autores ligada

diretamente à estas limitações era que, em suas pesquisas, eles notaram que as frequências detectadas pelo sistema eletrônico usado nas gravações eram "inexatas", indicando que as emissões sonoras articulares estavam em uma área do espectro para a qual o uso do microfone não era adequado.

MOLLAN e col. (1983) introduziram o uso de um novo instrumento no estudo do som articular: o acelerômetro piezo-elétrico. Este aparelho um sensor eletrônico de pequeno tamanho, que segundo os pesquisadores seria mais apropriado para pesquisar as emissões vibratórias do corpo humano foi usado para detectar as vibrações emitidas pelas articulações em movimento. Os resultados obtidos segundo os autores, apontavam para um lado positivo de seus estudos, confirmando que o acelerômetro representava uma ferramenta significativa para o avanço no conhecimento do som articular, pois os sinais vibratórios emitidos pelo joelho em movimento eram facilmente detectados e gravados, estando estes acima dos ruídos do ambiente. Assim sendo, os estudos preliminares da "vibração articular" através do uso do acelerômetro, indicavam que o novo sistema aplicado era extremamente proveitoso nas medições sonoras não-invasivas para as diferentes condições do aparelho locomotor. MOLLAN e col. detectaram dois tipos básicos de emissão vibratória: as emissões episódicas, como os estalidos, que apresentaram uma forma de onda similar àquela obtida na geração de um sinal abafado, e as "emissões contínuas", correspondentes à crepitação articular, esta normalmente observada na clínica durante a palpação. O novo sistema de análise detectou também uma variedade de sinais de artefatos que ocorreram, segundo os autores, devido à deficiência da técnica utilizada, ou então, ao mau funcionamento do sistema, o qual causou certa confusão durante as

análises subsequentes dos sinais registrados. KOTANI e SUZUKI (1983) relataram ter procedido a artrosonografia em 28 indivíduos portadores de joelhos normais e em 85 indivíduos portadores de joelhos patológicos, através de movimentos passivos. Os autores utilizaram-se de um microfone especial para as gravações e os ruídos coletados foram analisados através de um programa para análise de frequência, instalado em um computador. Para os joelhos normais, observaram que o som articular gravado se apresentava formado por componentes de baixa frequência no espectro. Entretanto, nos casos patológicos, nos quais haviam mudanças ósseas ou cartilagíneas devido, por exemplo, à artrite reumatóide, osteoartrite degenerativa ou fraturas, a análise do som produzido por estes joelhos mostravam componentes de alta frequência no espectro.

KERNOHAN e col. (1986) no estudo desenvolvido sobre o som articular, procuraram mostrar, que as interpretações dos fenômenos acústicos, produzidos pelo aparelho locomotor era extremamente difícil, sendo que a natureza subjetiva destas interpretações era, muitas vezes, o seu fator de limitação. Os autores desenvolveram sua pesquisa buscando identificar e categorizar sinais vibratórios de diversas articulações do corpo humano, entre elas a do quadril de recém-nascidos e o joelho de adultos, usando como detetor o acelerômetro, associado a um sistema de análise computadorizado. Através deste estudo, foi sugerido que a vibração provocada pelas articulações em movimento tinha o seu valor e, futuramente, viria a se transformar em um instrumento de grande potencial na ajuda para o diagnóstico de doenças relacionadas ao aparelho locomotor.

RICARTE (1987) analisou os sons articulares dos joelhos assintomáticos de 43 indivíduos jovens de ambos os sexos através da técnica artrosonográfica. As gravações foram obtidas em uma sala acústica, na tentativa de evitar os ruídos extrínsecos, não articulares. Estas foram posteriormente transportadas para um gravador de rolo acoplado a um eletromiógrafo e foram subjetivamente analisadas, levando-se em consideração dois parâmetros: as características sonoras de cada sinal e a amplitude das ondas observadas no ecrã do eletromiógrafo. Os sons articulares foram classificados em três categorias: suave, moderado e intenso. Os fenômenos sonoros observados, comuns aos três tipos articulares classificados, caracterizaram-se por se apresentarem na forma de chiado, rangidos, crepitações, estalos e estalidos.

McCOY e col. (1987) utilizaram pela primeira vez o termo "vibração artrográfica" para identificar a técnica de gravação e detecção das vibrações emitidas pelas articulações humanas em movimento. Os autores usaram o acelerômetro como sensor para registrar vibrações articulares, fixando-o em proeminências ósseas na articulação do joelho normal ou patológico de 247 indivíduos. Os autores concluíram que a vibração artrográfica prometia ser uma técnica sensível de grande utilidade na clínica para o diagnóstico não-invasivo das alterações articulares.

KERNOHAN e col. (1990), publicaram um estudo sobre a influência da velocidade sobre as medidas da vibração observada em articulações em movimento, e chamaram a atenção para o fato de que na medicina, através dos tempos, a vibração sonora articular tem sido utilizada na tentativa de se realizar diagnósticos em doenças articulares, empregando para isso, um extenso vocabulário na descrição destes fenômenos. No entanto, o desenvolvimento tecnológico tem sido lento em fornecer um

equipamento adequado para se obter gravações de qualidade, além do que, ainda não foi desenvolvido um equipamento ideal para a análise das vibrações. Os autores salientaram que até aquele momento os acelerômetros estavam sendo usados com grande sucesso, como um instrumento não-invasivo, que vinha sendo introduzido a pouco tempo neste campo de estudo. Nesta publicação, formalmente denominam a vibração artrométrica de "artrografia" e colocam que esta técnica já vem sendo utilizada no diagnóstico para a detecção precoce do deslocamento congênito do quadril e também no diagnóstico de lesões meniscais. KERNOHAN e col. observam também que, mais recentemente, a vibração patelar tem sido usada para avaliar as propriedades mecânicas da cartilagem articular e que a artrografia tem acrescentado novas informações sobre os possíveis mecanismos de lesão articular, associados com o impacto vibratório resultante do fenômeno da cavitação, ocorrida no líquido sinovial. Os autores concordam que as vibrações das articulações em movimento são, além de tudo, de grande utilidade para se obter diagnósticos e podem até indicar a origem das doenças articulares.

A literatura mostra que, num primeiro momento, os sons articulares foram analisados de uma forma subjetiva, através da auscultação com o uso do estetoscópio, período que se estende até a década de 20.

Posteriormente, com a introdução da eletrônica, estes sons passaram a ser gravados, registrados e documentados. A partir deste período, os autores concordaram em admitir que encontraram dificuldades para analisar os sons articulares, devido à presença de ruídos extrínsecos. Estes são advindos do próprio equipamento de aquisição das gravações, ruídos do meio ambiente e/ou aqueles produzidos pela fricção

do microfone contra a pele. No entanto, os autores concordaram em que esta era uma técnica promissora no diagnóstico não-invasivo de doenças articulares, mas no entanto, havia a necessidade de mais estudos a seu respeito, para que ela viesse a ter utilidade na clínica médica.

A introdução do computador como mais um instrumento de análise, trouxe um novo avanço nesta área de pesquisa. Os sons articulares passaram a ser digitalizados, podendo através de programas sofisticados, serem editados, documentados e analisados em todos os seus aspectos físicos. CHU e col. (1978b), foram os primeiros pesquisadores a utilizarem do computador em seus estudos sobre os sons articulares e posteriormente, KOTANI e SUZUKI (1983).

Entretanto, como pode ser observado, a partir de 1983, uma equipe de pesquisadores começou a desenvolver um novo tipo de análise dos sons articulares, agora relacionado somente ao seu aspecto vibratório, para as baixas frequências. Esta equipe justificou seu procedimento, uma vez que uma das observações relatada pela maioria dos pesquisadores, era a de que a grande concentração de energia dos sinais articulares se encontrava na parte inferior do espectro, e que portanto, aos níveis dinâmicos da emissão articular ocorridos nas baixas frequências, o microfone, como um sensor, era impreciso. Para contornar esse obstáculo introduziram o uso de um outro sensor, este desenvolvido para captar as baixas frequências articulares: o **acelerômetro**. Como pode ser notado, até o momento, duas técnicas foram utilizadas no estudo dos sons articulares: uma estudando-os em sua composição espectral observada dentro do alcance dinâmico do microfone utilizado como sensor de captação, e outra, estudando as vibrações articulares utilizando-se do acelerômetro. A retomada

do estudo dos sons articulares no joelho em movimento, utilizando-se do microfone, é o objetivo desta pesquisa, buscando mostrar que a quantidade total de energia sonora emitida pelo joelho em movimento é significativa. Esta energia é formada por fenômenos acústicos particulares, únicos e importantes, composta também por altas frequências, impossíveis de serem captadas pelo acelerômetro. Quando as gravações dos sons articulares do joelho, obtidas com o uso do microfone se associam a um programa para analisar os fenômenos sonoros captados, o espectro obtido do som articular traduz com bastante fidelidade todas as características que compõem este sinal. Nele pode ser observado as baixas, médias e altas frequências deste sinal, compondo com maior fidelidade, o seu espectro.

MATERIAL E MÉTODO

MATERIAL E MÉTODO

Foram analisados, através da técnica artrosonográfica, os joelhos de duzentos e quinze (215) voluntários, de ambos os sexos, entre 10 e 75 anos de idade. Destes, cento e quarenta e cinco (145) relataram serem portadores de joelhos assintomáticos, os quais nunca foram acometidos por qualquer tipo de lesão, trauma, ou doença naquela articulação.

Estes indivíduos se dispuseram sem restrições a participar das gravações após serem esclarecidos do propósito da pesquisa, sendo selecionados junto aos funcionários do Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e dos acompanhantes de pacientes que se encontravam naquele ambulatório para consulta.

Foram analisados também, os joelhos de setenta (70) pacientes portadores de doença reumática, selecionados e avaliados clinicamente no Departamento de Reumatologia do Hospital das Clínicas da mesma universidade.

Para cada indivíduo, foi preenchida uma ficha de identificação, na qual foram anotados seus dados pessoais, como nome, idade, peso e altura, além da condição funcional do joelho analisado em assintomático ou sintomático, e neste caso qual o diagnóstico da doença.

O som articular do joelho em movimento foi registrado utilizando-se um microfone de condensador ultradirecional marca Sennheiser, modelo MKH 816T (Fig.1), com uma resposta de frequência de 20 à 20 kHz (± 2 dB) e uma faixa dinâmica com cerca de 73 dB.

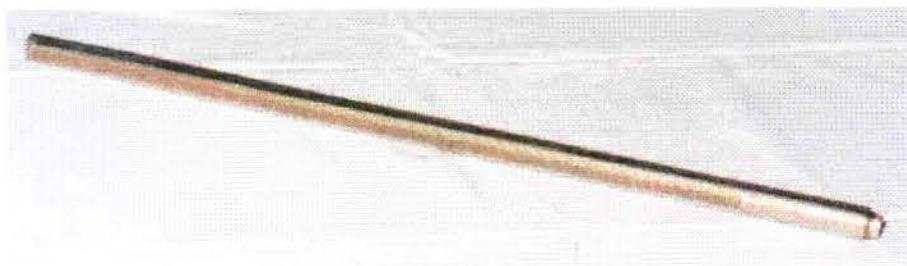


Figura 1 - Microfone de condensador ultradirecional "Sennheiser".

O registro sonoro do som articular foi então armazenado, utilizando-se de em um gravador analógico marca Kudelski S.A., tipo Nagra "E" (Fig. 2), em fita eletromagnética, marca Scotch 212, a uma velocidade da fita de 19 cm/s, $\pm 0,1\%$.

A figura 3 ilustra o equipamento previamente montado, microfone e gravador, preparado e calibrado para a gravação do som articular.

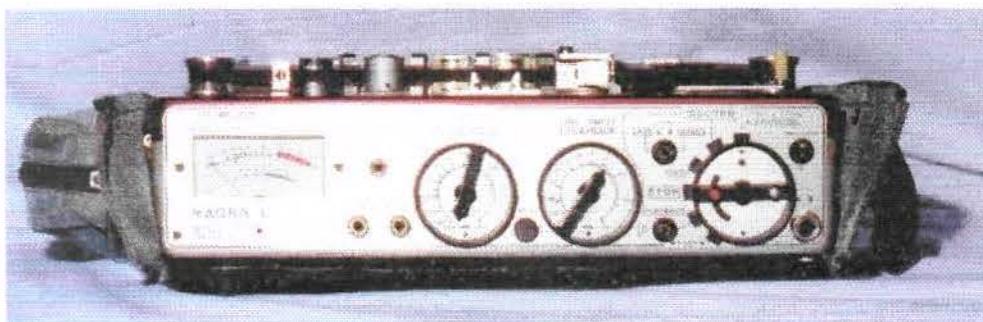


Figura 2 - Gravador analógico Kudelski S.A. (Nagra "E")

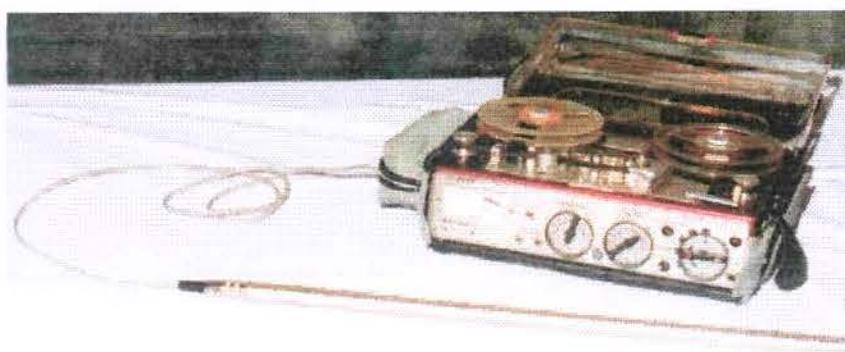


Figura 3 - Conjunto do equipamento utilizado na gravação do som articular montado.
Gravador Kudelski S.A (Nagra "E") e Microfone Sennheiser.

As gravações foram realizadas em uma sala acústica para exames fonoaudiológicos do ambulatório do Departamento de Otorrinolaringologia do Hospital das Clínicas da UNICAMP. Esta opção teve como objetivo evitar o quanto possível a interferência de ruídos extrínsecos à gravação, durante a execução dos movimentos do joelho.

Procedimento

Inicialmente, para a obtenção das gravações, foi solicitado a cada indivíduo que mantivesse os pés descalços e que usassem um avental cirúrgico para permitir que os membros inferiores ficassem expostos e livres do contato com a roupa. Em seguida, foi solicitado também que ele se sentasse em uma mesa e mantivesse as pernas e os pés pendentes, dispostos em flexão a 90 graus, ficando os mesmos livres para executar os movimentos de extensão e flexão do joelho. Cada indivíduo executou de uma forma rítmica, numa velocidade constante e ininterrupta, 10 ciclos completos de movimento do joelho, num tempo aproximado de 2 segundos para cada ciclo executado, o que somou um tempo próximo de 20 segundos.

Cada ciclo completo constou de uma extensão seguida de uma flexão do joelho. Assim sendo, estando inicialmente o indivíduo com o joelho flexionado em 90 graus, a extensão se deu pela elevação da perna até 180 graus, para em seguida retornar, através da flexão, à fase inicial do movimento em 90 graus. Na execução das gravações foi dado um comando verbal aos indivíduos para que iniciassem os

movimentos, e ao término da execução de 10 ciclos completos a gravação foi interrompida.

Durante as gravações, o microfone foi pressionado manualmente e com firmeza, sobre a pele do côndilo lateral do fêmur. Esta manobra é de grande importância pois evita o atrito da pele contra o bocal do microfone, de modo que não permite a captação de possíveis ruídos provocados por este atrito, os quais interfeririam de alguma forma no sinal registrado. As gravações foram favorecidas devido ao formato côncavo do bocal do microfone, que se adaptou perfeitamente sobre aquela região do joelho.

A figura 4 ilustra a posição do microfone em relação à pele do côndilo lateral de fêmur durante a gravação dos artrosonogramas.

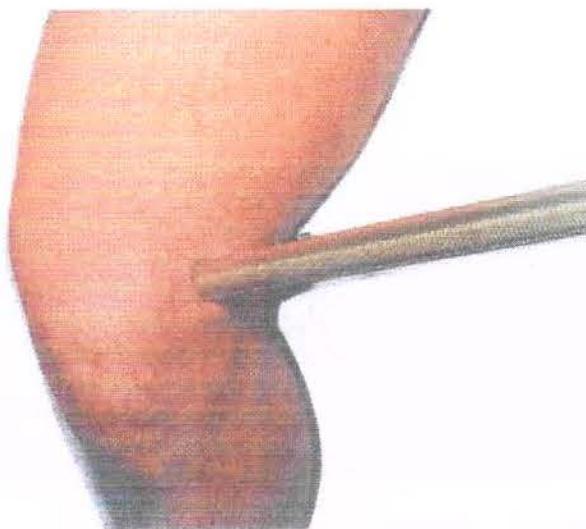


Figura 4 - Posição do microfone, adaptado manualmente sobre a pele que reveste o côndilo do fêmur, durante as gravações dos artrosonogramas.

Uma vez obtidas as gravações do som articular, este foi analisado no laboratório de bio-acústica do Departamento de Zoologia de Instituto de Biologia da UNICAMP. Para isto, foi selecionado de cada gravação, um trecho relativo a dois ciclos de movimento do joelho (extensão / flexão / extensão / flexão), o que correspondeu a 4 segundos aproximadamente.

Posteriormente, cada trecho selecionado e gravado no formato analógico, foi novamente gravado em fitas do tipo DAT, no formato digital, utilizando-se de um gravador marca Tascam DA-30MKII (Fig. 5).



Figura 5 - Gravador digital Tascam DA-30MKII

Finalmente, após a digitalização dos trechos selecionados, estes foram transferidos e armazenados em um microcomputador, para serem então analisados.

Para a análise dos trechos digitalizados, foi utilizado o sistema multimídia do micro e um editor do som: o programa **Cool Edit 96**. Este programa permitiu ouvir, quantas vezes fossem necessárias, os trechos gravados dos sons articulares e observar as imagens por eles geradas na tela do monitor do micro.

O som articular registrado foi gravado com uma taxa de amostragem de 44.100 Hz e 16 bits por amostra, no padrão mono em arquivo com formato "**Windows PCM**".

A opção da taxa de amostragem de 44.100 Hz decorre do interesse em avaliar as características do sinal dentro da faixa dinâmica de frequência do microfone (20.000 Hz). De acordo com o teorema da amostragem (DeFATTA et al., 1988), não haverá nenhuma perda de informação na amostragem, quando a taxa utilizada for maior ou igual ao dobro da maior frequência do sinal. Neste caso, sendo a frequência máxima do sinal captado pelo microfone de 20.000 Hz, a taxa de 44.100 Hz é suficiente para caracterizar o sinal.

A opção pela aquisição das amostras com 16 bits possibilitou a representação mais precisa possível para o sistema de aquisição disponível.

Para OPPENHEIM (1979), a representação de uma amostra com "b" bits, possibilita a relação sinal/ruído de quantização (SNR) dada por:

$$\text{SNR} = 6 b - 1,24 \text{ dB} \quad (\text{equação 1})$$

No caso da aquisição do sinal com 16 bits por amostra temos uma relação sinal/ruído de:

$$\text{SNR} = 94,76 \text{ dB}$$

Este valor indica que o ruído introduzido pela quantização estará 94,76 dB abaixo do nível do sinal. Esta relação sinal/ruído possibilita a representação do sinal captado pelo microfone em toda sua faixa dinâmica (73 dB).

Finalmente, o som articular gravado foi processado, utilizando-se um programa de processamento digital de sinais (MatLab), o qual gerou a sua representação gráfica, nos domínios do tempo e/ou da frequência, como: **forma de onda**, **espectro de frequência** e **densidade espectral de potência**.

METODOLOGIA USADA NA ANÁLISE DO SOM ARTICULAR

A análise do som articular gerado pelo joelho em movimento baseou-se em dois parâmetros: um subjetivo à própria **audição**, e outro objetivo, a relação **tempo/frequência** do sinal.

Para a análise objetiva do som articular foram considerados: a representação da variação da pressão sonora no domínio do tempo, suas características de frequência e sua dinâmica.

A representação da onda sonora produzida pelo fenômeno articular para análise no domínio do tempo, aqui denominada **forma de onda**, mostra como a pressão sonora recebida pelo microfone variou ao longo do tempo, demonstrando as alterações nas variáveis de deslocamento e amplitude, em função do tempo.

O gráfico correspondente à **forma de onda** apresenta na abscissa, o eixo do tempo em segundos (s), e na ordenada, o eixo da amplitude, aqui representada em percentagem (%) da faixa dinâmica do sistema de aquisição.

A figura 6 apresenta, como exemplo, a **forma de onda** para um sinal, na forma de uma onda senoidal sintetizada, com amplitude correspondente à 80% da faixa dinâmica do sistema de aquisição, com duração de 0,5 segundos e frequência de 8 Hz.

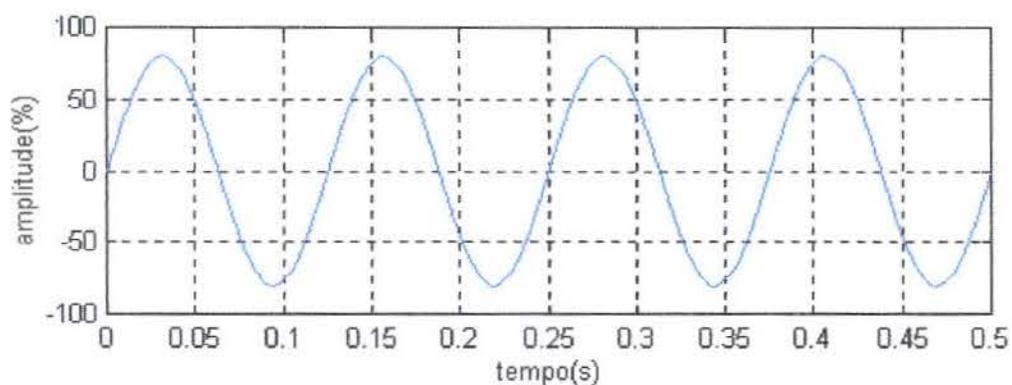


Figura 6 - Forma de onda senoidal de um sinal sintetizado .

A figura 6 mostra que a forma de onda apresenta uma dinâmica da variação do sinal ao longo do tempo. Esta, entretanto, é uma forma de onda simples, composta de uma única frequência de modo que permite a visualização de suas características mais importantes, tais como: amplitude, período, fase e frequência.

O som articular, por outro lado, é formado de ondas complexas, constituídas de várias frequências, o que impossibilita a sua análise baseada unicamente neste tipo de representação, requerendo, portanto, representações específicas no domínio da frequência.

A representação da onda produzida pelo som articular para análise no domínio da frequência, será realizada pela **densidade espectral de potência (DEP)**, a qual mostra quais frequências compõem o sinal. A densidade espectral de potência (DeFatta, 1988) foi obtida pelo método de Welch, utilizando janela de Hanning com duração de 46,4 ms e superposição de 50%.

O gráfico da **DEP** apresenta na abscissa o eixo da frequência em Hertz (Hz) e na ordenada o eixo da amplitude, sendo que esta será representada em decibéis (dB) abaixo do pico do espectro.

Neste trabalho, o som articular de cada joelho gravado, será medido, levando-se em consideração a **amplitude**, a **frequência** e o **tempo** do mesmo. Esta representação será denominada **espectrograma (espectro de frequência)**.

Os fenômenos sonoros identificados no som articular individualmente, ou seja, aqueles caracterizados como sendo “instantâneos” ou de curtíssima duração, serão analisados através da **DEP**.

A figura 7 apresenta a **DEP** para um sinal, resultado da soma de três senóides com freqüências de 200, 1000 e 5000 Hz e amplitudes de 40, 80 e 2 unidades, respectivamente, mostrando também sua composição espectral.

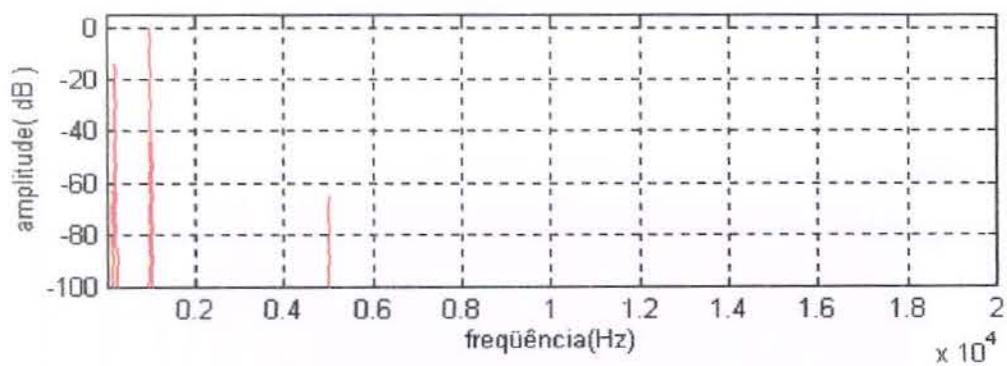


Figura 7 - DEP de um sinal, resultado da soma de três senóides.

Para o sinal representado na **forma de onda** da figura 8a, a figura 8b, mostra o **espectrograma** correspondente.

Na figura 8a, podemos observar que o sinal varia continuamente em frequência. Observa-se também que a frequência máxima foi atingida em torno de 0,02 segundos e a frequência mínima ao redor de 0,07 segundos. O **espectrograma** do sinal, figura 8b, mostra a sua composição espectral ao longo do tempo.

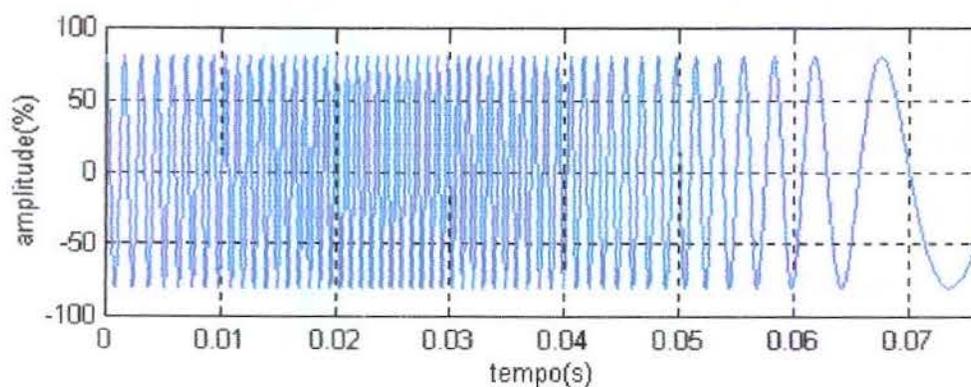


Figura 8a - Forma de onda de um sinal gerado sinteticamente.

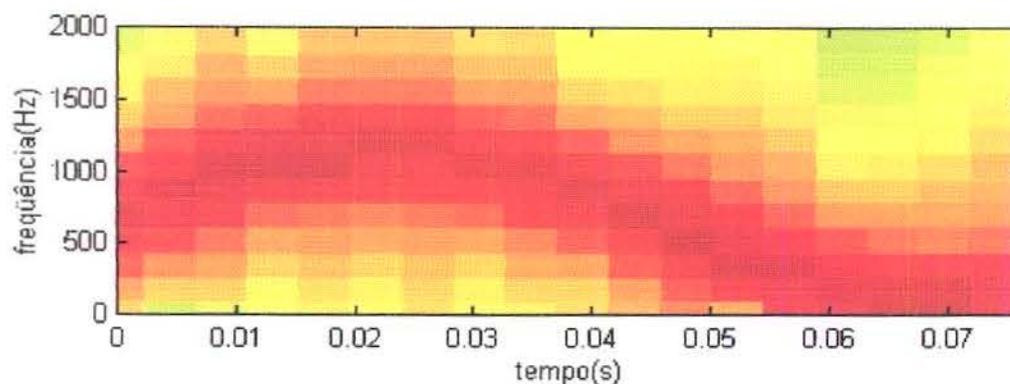


Figura 8b - Espectrograma do sinal gerado sinteticamente, referente à figura 8a.

A figura 9 mostra, como exemplo, o **espectrograma** de um sinal composto de uma senóide de frequência de 8.000 Hz, associada a um sinal de frequência variável. A intensidade relativa das componentes do sinal são caracterizadas pela cor, conforme a barra colorida à direita da figura. A cor vermelha escura, no alto da barra colorida, representa a máxima amplitude relativa do sinal. Esta é seguida do vermelho mais claro, descendo até o azul escuro, embaixo da barra colorida, a mínima amplitude relativa.

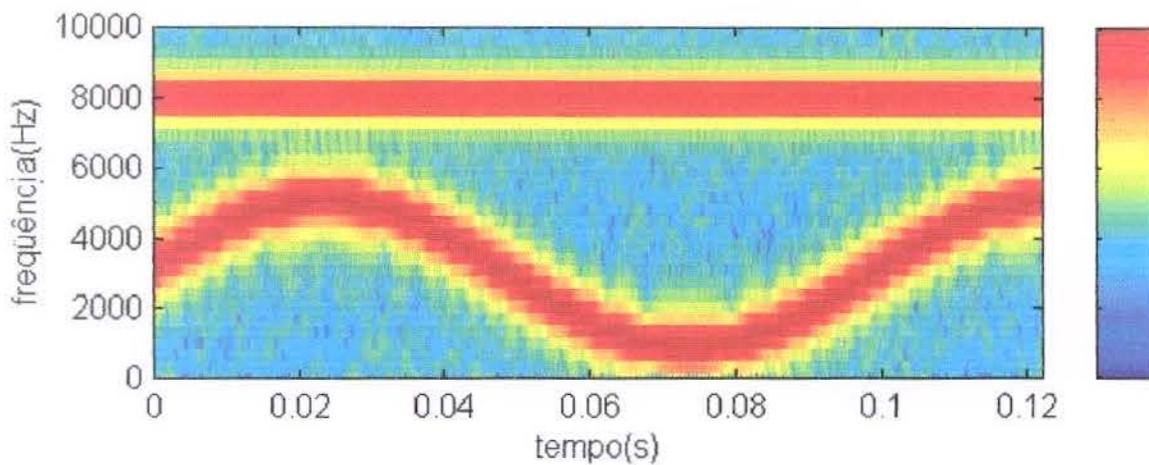


Figura 9 - Espectrograma de um sinal composto de uma senóide de 8 k Hz, associada a um sinal de frequência variável.

Os espectrogramas serão obtidos utilizando-se janela de Hanning e porcentagem (%) de superposição entre janelas de 50 e 99%. A superposição de 99% foi utilizada para caracterizar fenômenos com duração inferior a 0,25 s e a superposição de 50% foi utilizada para observar a dinâmica geral do sinal (duração superior a 0,25 s). Para o espectrograma obtido de ondas sonoras resultantes de fenômenos articulares, adotou-se a designação **artrosonograma**.

RESULTADOS

RESULTADOS

Neste estudo, participaram 215 voluntários, de ambos os sexos e em diferentes faixas etárias. Do total da amostra, 145 indivíduos relataram apresentar joelhos assintomáticos e 70, com diagnóstico de doença reumática, foram considerados como portadores de joelhos sintomáticos. Do total dos joelhos analisados, 20 deles foram identificados como sendo silenciosos, ou seja, joelhos que não apresentaram durante as gravações, qualquer som articular que pudesse ser captado pelo microfone.

A tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença ou à ausência de som articular.

SONS ARTICULARES			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos assintomáticos	126 (86,9%)	19 (13,1%)	145
Joelhos sintomáticos	69 (98,6%)	1 (1,4%)	70
Total	195	20	215

Tabela 1: Presença ou ausência de som articular em joelhos sintomáticos e assintomáticos

A figura 10 ilustra os valores em porcentagem da ocorrência de joelhos silenciosos e ruidosos do total da amostra analisada. Dos 145 casos assintomáticos, 19 foram silenciosos e 126 foram ruidosos, ou seja 13,1% e 86,9%, respectivamente.

Dos 70 casos sintomáticos observou-se apenas um joelho silencioso e 69 ruidosos, portanto, 1,4% e 98,6%, respectivamente.

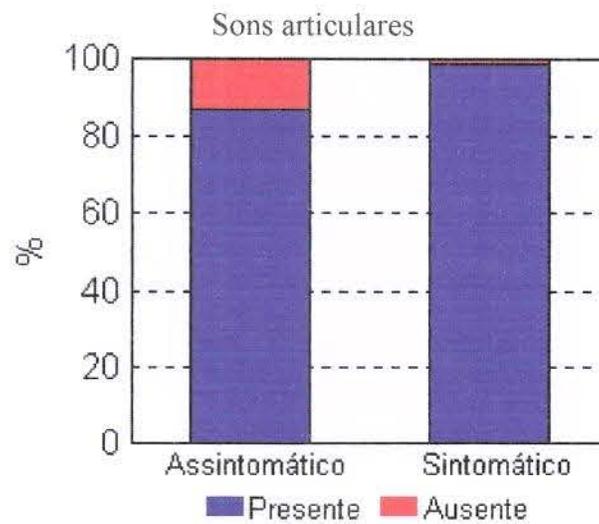


Figura 10 - Presença e ausência de som articular entre joelhos assintomáticos e sintomáticos.

O teste χ^2 indicou que existe uma diferença estatisticamente significativa entre a presença e a ausência de som articular entre os joelhos assintomáticos e sintomáticos, com um intervalo de confiança de 95%.

CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DO SOM ARTICULAR DO JOELHO

O som articular registrado, gravado de cada joelho em movimento, apresentou fenômenos acústicos com características sonoras e visuais únicas, as quais se traduzem em verdadeiras "assinaturas" de identificação para cada tipo de fenômeno. Alguns destes se reproduziram, no tempo, aleatoriamente, de uma forma isolada, sendo muito rápidos, quase que instantâneos. Outros, de forma sistemática, se reproduziram no tempo, sempre no mesmo ângulo do ciclo de movimento do joelho. Os fenômenos sonoros articulares isolados, aqueles de curta duração, foram identificados como sendo: o **estalido**, o **estalo** e o **baque articular**.

É importante esclarecer que através da audição, praticamente, não existe diferença entre um estalido e um estalo articular, sendo esta percepção muito sutil, devido à semelhança sonora que existe entre eles. Porém, quanto à forma da onda e ao espectro de frequência por eles geradas, observa-se algumas diferenças, que serão descritas mais adiante as quais permitem identificá-los com uma certa facilidade.

Por serem fenômenos sonoros de curta duração, na análise de um trecho longo de gravação, o estalido, o estalo e o baque articular são observados, tanto na **forma de onda** quanto no **espectro de frequência**, como picos de onda que geralmente se sobressaem em relação aos demais. Para que eles possam ser melhor observados e analisados, torna-se necessário ampliá-los na escala de tempo. Dessa forma, quando se observa cada fenômeno individualmente, este se torna explícito permitindo ser identificado imediatamente.

Além disso, nestes casos em que o fenômeno sonoro analisado for de curta duração, é interessante também que este seja observado em relação a outro parâmetro, a **densidade espectral de potência**.

Foi observado também, além do estalido, do estalo e do baque, a presença de um fenômeno sonoro de longa duração: a **crepitação articular**, esta regularmente presente em todas as articulações ruidosas analisadas.

Portanto, como pode ser notado nesta pesquisa, os sinais articulares do joelho apresentaram quatro fenômenos sonoros específicos que foram perfeitamente identificados através da audição e visualmente: o **estalido**, o **estalo**, o **baque** e a **crepitação** articular. Os três primeiros com um tempo de duração entre 0,01 e 0,03 segundos, aproximadamente, são fenômenos extremamente rápidos, praticamente instantâneos. O quarto fenômeno, a crepitação, ocorre em um tempo de duração mais longo, 1,0 segundo aproximadamente.

Um exemplo de cada fenômeno sonoro foi selecionado para a sua descrição, sendo que para isso, foram considerados dois critérios de análise: um subjetivo e outro objetivo.

O critério subjetivo de análise do fenômeno sonoro articular produzido pelo joelho em movimento foi a audição. Através dela, observou-se suas características acústicas, utilizando-se de dois atributos ou dimensões: a **altura** e **intensidade**.

A **altura** do som é a qualidade física relacionada à frequência da onda sonora que permite classificá-la em uma escala que varia do **grave** ao **agudo**. Sendo assim, o **som baixo** é **grave** e de **baixa frequência** e o **som alto** é **agudo** e de **alta frequência**.

A **intensidade**, outra qualidade física do som, que se relaciona tanto à amplitude da onda sonora quanto à sua pressão efetiva e também a energia por ele transportada. Estas qualidades permitem classifica-la dentro de uma escala que varia do **fraco** ao **forte**. Portanto, o **som de pequena intensidade é fraco**, de **baixo volume** e o **som de grande intensidade é forte**, de **alto volume**.

O aspecto objetivo da análise dos fenômenos sonoros articulares foi realizado a partir da representação gráfica da onda sonora gerada pelo joelho em movimento, onde foram levadas em consideração, como já visto, a sua **forma de Onda**, o seu **espectro de frequência** e a sua **densidade espectral de potência (DEP)**, esta, somente para os fenômenos instantâneos, aqueles de curta duração.

O estalido articular do joelho

Fenômeno sonoro articular de ocorrência aleatória, não cíclico e de curta duração, o estalido é percebido acústicamente como um som extremamente agudo e de grande intensidade.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença ou à ausência do estalido articular.

ESTALIDO ARTICULAR			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos Assintomáticos	32 (22,1%)	113 (77,9%)	145
Joelhos Sintomáticos	6 (8,6%)	64 (91,4%)	70
Total	38	177	215

Tabela 2 - Presença e ausência do estalido articular em joelhos sintomáticos e assintomáticos

A figura 11 ilustra as porcentagens da presença e da ausência do estalido articular, observado no total da amostra para os joelhos assintomáticos e sintomáticos.

Foram observados estalidos nas gravações de 32 joelhos assintomáticos e em 6 sintomáticos, ou seja, em 22,1% e 8,6%, respectivamente; assim como foi observado a sua ausência em 113 joelhos assintomáticos e em 64 sintomáticos, correspondendo à 77,9% e 91,4% , respectivamente.

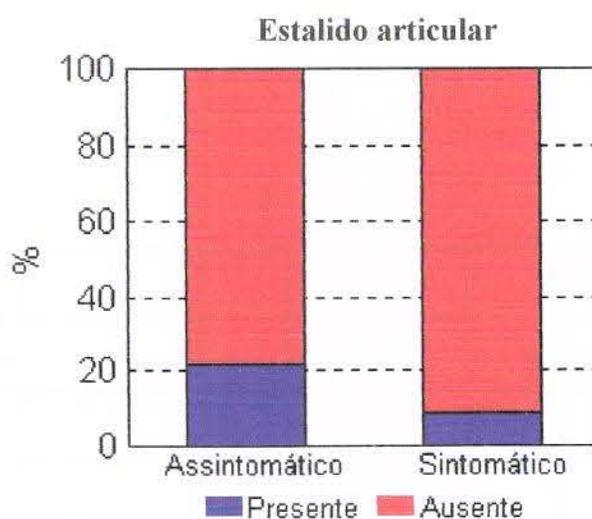


Figura 11 - Presença e ausência do estalido articular em joelhos assintomáticos e sintomáticos.

O teste χ^2 indicou que existe uma diferença estatisticamente significativa entre a presença e a ausência do estalido articular entre os joelhos assintomáticos e sintomáticos, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

Foi selecionado o trecho de referência 3/92 da gravação do som articular para ser usado como exemplo na identificação e descrição do estalido articular do joelho.

A figura 12a, com um tempo de duração de 4 segundos, representa a **forma de onda** deste trecho na qual pode ser observado o estalido articular, como um pico de onda de grande amplitude, ocorrendo na escala do tempo, em 0,2 segundos aproximadamente, durante a primeira extensão do joelho.

O pico de onda gerado pelo estalido se sobressai em relação aos demais picos, estes menores e que também compõem a onda aperiódica do sinal.

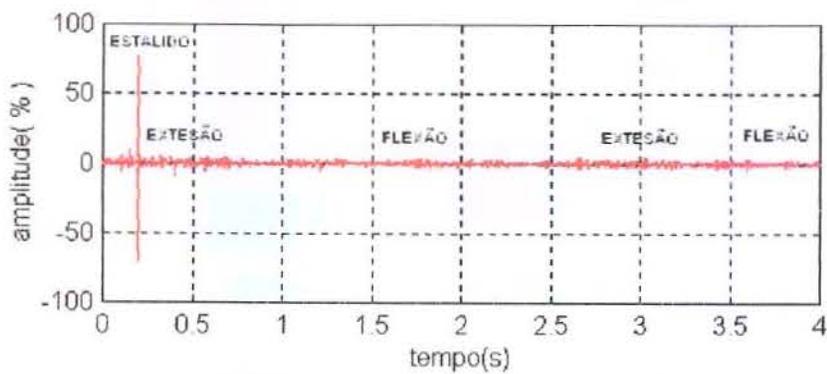


Figura 12a - Forma de onda de um trecho de gravação de um sinal articular do joelho onde se observa a presença de um estalido. Ref. 3/92.

O **espectrograma** do mesmo sinal, correspondente à figura 12b, foi gerado para frequências até 20.000 Hz. Nele, observamos que o estalido se destaca no espectro em aproximadamente 0,2 segundos na escala do tempo, sendo este de grande intensidade e alta frequência, chegando quase a atingir os 20.000 Hz.

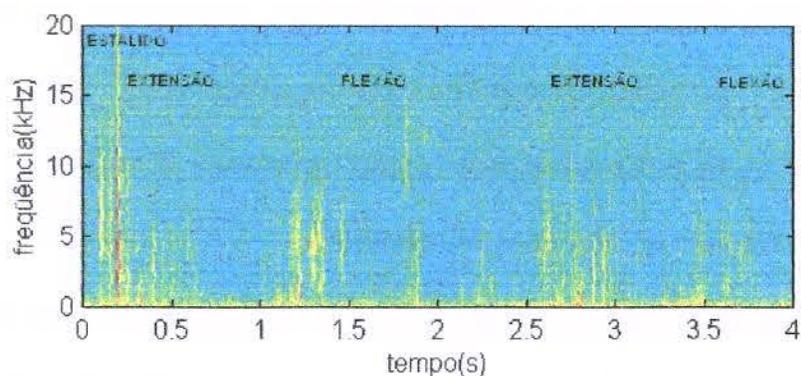


Figura 12b - Espectrograma do som do joelho em movimento, para frequências até 20.000 Hz onde se observa a presença do estalido articular.

A figura 12c refere-se ao mesmo exemplo utilizado para representar graficamente a **forma de onda** do estalido articular do joelho, agora ampliado, num trecho de gravação com duração de 0,1 segundo. Nela podemos notar que o tempo de duração do fenômeno sonoro analisado é quase que instantâneo, sendo de 0,02 segundos, aproximadamente.

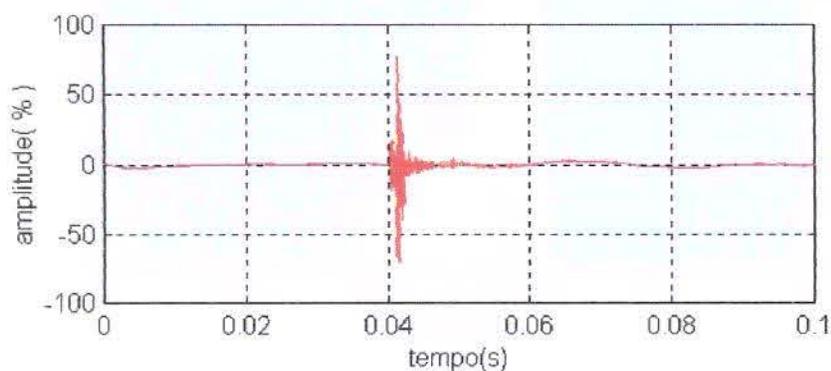


Figura 12c - O estalido articular do joelho, representado em sua forma de onda ampliada.

Observa-se também na figura 12c precedendo o fenômeno articular, na escala de tempo entre 0 e 0,04 segundos, que a onda sonora é de pequena amplitude e se confunde com a linha zero de referência de amplitude do sinal. Logo a seguir, nota-se bruscamente a origem de ondas de amplitudes maiores que se estendem num crescente, onde após atingirem a amplitude máxima, decrescem em um ritmo de amortecimento rápido, até aproximadamente 0,06 segundos. Aqui, novamente, ela se continua até o final do trecho selecionado, como uma onda sonora com a amplitude voltando a se confundir com a linha zero de referência.

O **espectro de frequência** ampliado do trecho selecionado como exemplo para se observar o estalido articular do joelho é mostrado na figura 12d. Este espectro, para frequências até 20.000 Hz, mostra com mais detalhes, que o estalido é um fenômeno sonoro que apresenta um nível de intensidade forte e frequência muito alta, neste exemplo, chegando próximo a 20.000 Hz. Nota-se também na figura, que ocorre uma expansão à direita do sinal, este em alta frequência e com a intensidade diminuída.

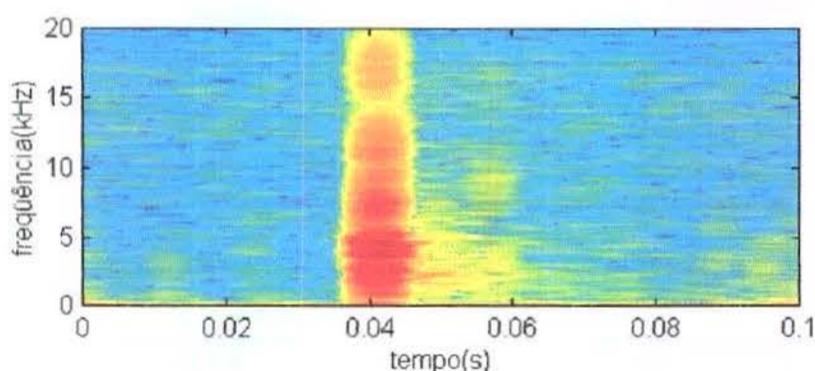


Figura 12d – Espectrograma do estalido articular do joelho, para frequências até 20.000 Hz.

A Figura 12e, correspondente à análise da **densidade espectral de potência** do trecho selecionado para ilustrar a ocorrência de um estalido articular do joelho. Aqui se observa uma primeira concentração de energia para as baixas frequências em torno de 100 Hz a 200 Hz. Em seguida esta energia se distribui entre 700 Hz e 1.100 Hz aproximadamente. Nota-se ainda uma terceira concentração de energia entre 1.100 Hz e 5.000 Hz.

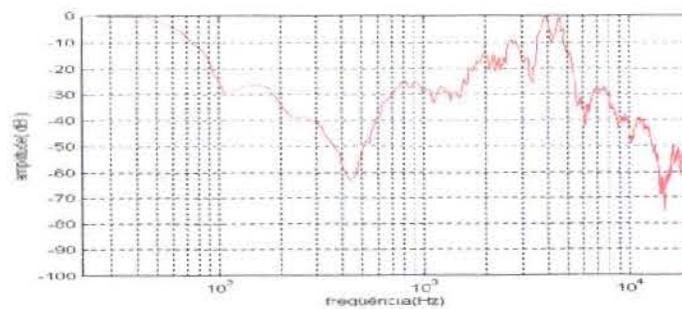


Figura 12e - Densidade espectral de potência do estalido articular selecionado.

No anexo II são apresentados os gráficos referentes à forma de onda, artrosonograma e densidade espectral de potência para sinais típicos de estalidos.

O estalo articular do joelho

Fenômeno articular transitório de curta duração, o estalo apresenta como característica sonora a sensação acústica de um som com altura variando dentro da escala que vai do grave ao agudo, sendo este forte e de grande intensidade.

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença ou à ausência do estalo articular.

ESTALO ARTICULAR			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos Assintomáticos	8 (5,5%)	137 (94,5%)	145
Joelhos Sintomáticos	21 (30,0%)	49 (70,0%)	70
Total	29	186	215

Tabela 3 - Presença e ausência de estalo articular em joelhos sintomáticos e assintomáticos

A figura 13, ilustra as porcentagens da presença e da ausência do estalo articular, observado no total da amostra para os joelhos assintomáticos e sintomáticos. Foram observados estalos nas gravações de 8 joelhos assintomáticos e de 21 joelhos sintomáticos, correspondendo, respectivamente à 5,5% e 30,0%. Foi observado também, a sua ausência em 137 joelhos assintomáticos e em 49 sintomáticos, correspondendo à 94,5% e 70,0%, respectivamente.

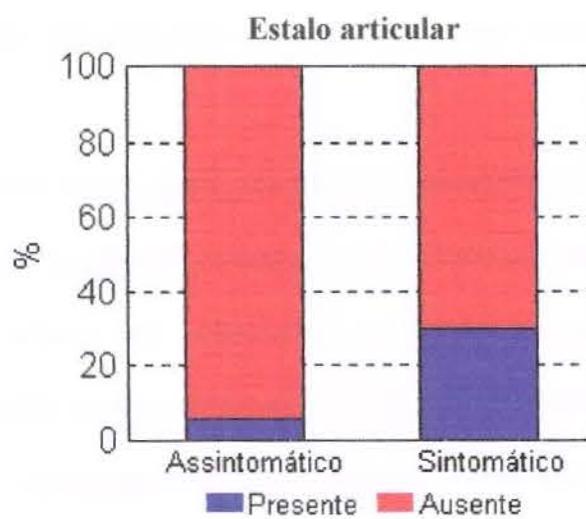


Figura 13 - Presença e ausência do estalo articular do joelho em porcentagem, com relação aos joelhos assintomáticos e sintomáticos.

O teste χ^2 indicou que existe uma diferença significativa entre a presença e a ausência do estalo articular entre os joelhos assintomáticos e sintomáticos, adotando-se um intervalo de confiança de 95%.

É importante também ser relatado, que o estalo articular ocorreu sistematicamente, em 19 gravações do total da amostra no mesmo ângulo do ciclo de movimento, sempre durante as fases de extensão do joelho. Esta repetição do fenômeno foi observada em 3 gravações de joelhos assintomáticos e em 16 de joelhos sintomáticos.

O teste χ^2 indicou que existe uma diferença significativa entre a presença e a ausência de estalo articular sistemático entre os dois tipos de joelhos, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

O trecho da gravação do som articular do joelho de referência 4/59, foi selecionado para ser usado como exemplo na identificação, análise e descrição do estalo articular do joelho.

A figura 14a, correspondente à **forma de onda** deste trecho e nela se observa dois picos de onda de grande amplitude: o primeiro, correspondente ao primeiro estalo (Eto1), ocorreu durante a primeira extensão do joelho, à 0,3 segundos, aproximadamente, na escala do tempo e o segundo estalo (Eto2), ocorreu durante a segunda extensão do joelho, aproximadamente, à 2,8 segundos.

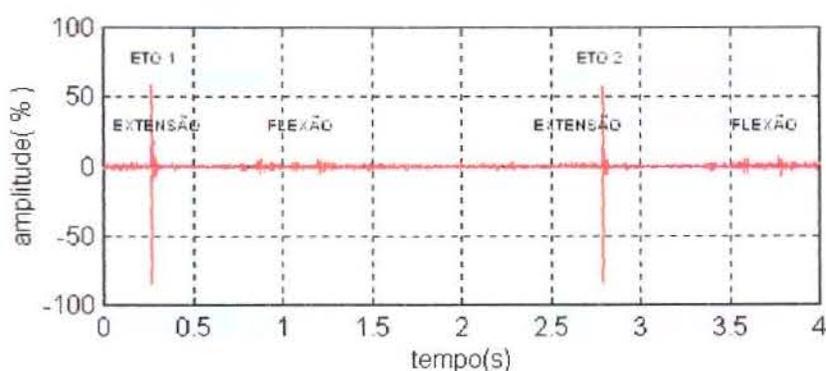


Figura 14a - Forma de onda de um sinal onde são observados dois estalos articulares do joelho: Eto1e Eto2. Ref. 4/59.

A Figura 14b, referente ao **espectrograma** do mesmo sinal, mostra os dois estalos articulares do joelho destacando-se com muita evidência no espectro, nos tempos já citados anteriormente. Estes se apresentam como picos de grande intensidade e alta frequência, ultrapassando um pouco os 20.000 Hz, tanto na primeira quanto na segunda extensão do joelho.

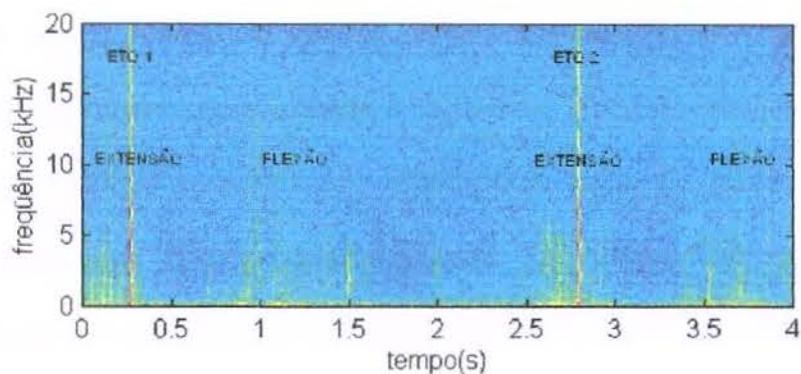


Figura 14b - Espectrograma de um sinal articular do joelho para frequências até 20 kHz onde são observados dois estalos articulares: Eto1 e Eto2.

A figura 14c refere-se ao exemplo utilizado para representar graficamente a **forma de onda** do estalo articular do joelho (Eto1), num intervalo de 0,1 segundo de gravação da região onde ocorreu o fenômeno. A figura 14d, da mesma forma, se refere ao segundo estalo (Eto2), ambos já identificados na figura 14a. Estas duas figuras serão usadas para demonstrar a semelhança morfológica e dinâmica entre os dois estalos, quando estes ocorrerem de forma sistemática.

Como pode ser observado nas figuras, as ondas geradas pelos dois baques, assim como o estalido articular, apresentam um tempo de duração muito curto, nestes exemplos, de 0,03 segundos aproximadamente. Além disso, pode-se também notar, que estas ondas apresentam uma grande semelhança morfológica entre si.

Observa-se também em cada figura, precedendo o fenômeno articular, entre 0 e até próximo de 0,05 segundos, que a onda gerada se confunde com a linha zero de referência da amplitude do sinal, para logo a seguir, bruscamente dar origem à ondas de amplitudes maiores as quais, após atingir a amplitude máxima, decrescem em um ritmo de amortecimento lento, até aproximadamente 0,08 segundos. A partir daí, novamente, elas se continuam até o final do trecho selecionado, tornando novamente a se confundir com a linha zero de referência da amplitude.

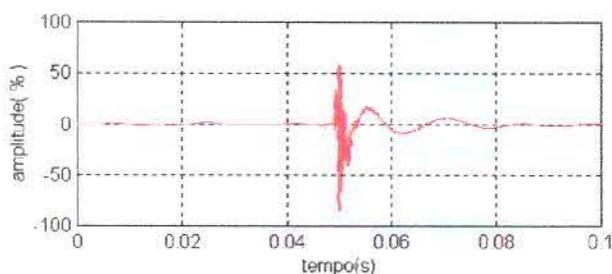


Figura 14c - Forma de onda do estalo articular do joelho. "Eto1"

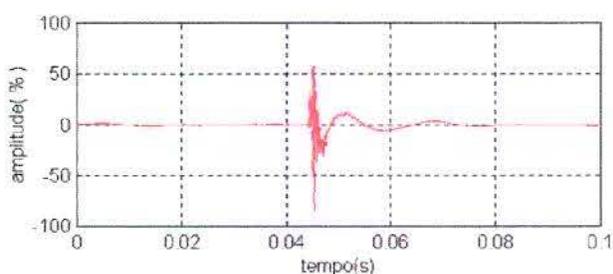


Figura 14d - Forma de onda do estalo articular do joelho. "Eto2".

Os **espectrogramas** referentes aos dois estalos articulares analisados, figuras 14e (Eto1) e 14f (Eto2), mostram que os dois fenômenos apresentam um nível de energia de grande intensidade e alta frequência, chegando a atingir os 20.000 Hz.

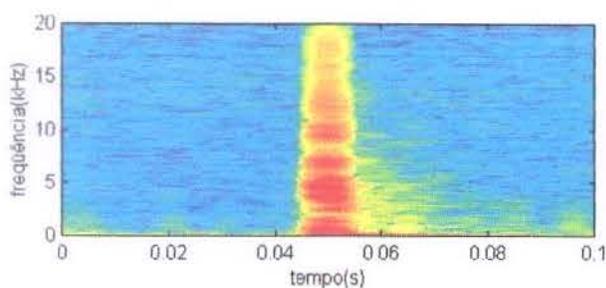


Figura 14e - Espectrograma de Eto1 para frequências até 20.000 Hz.

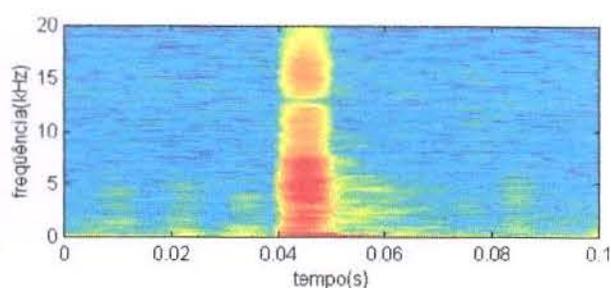


Figura 14f - Espectrograma de Eto2 para frequências até 20.000 Hz.

Os gráficos relativos à análise da **densidade espectral de potência** dos dois estalos, figuras 14g (Eto1) e 14h (Eto2), mostram uma primeira concentração de energia em baixa frequência, entre 100 Hz e 200 Hz aproximadamente. Observa-se também uma segunda concentração de energia entre 4.000 Hz e 6.000 Hz e uma terceira concentração de energia entre 6.000 Hz até 13.000 Hz, para Eto1 e de 6.000 Hz até 16.000 Hz para Eto2.

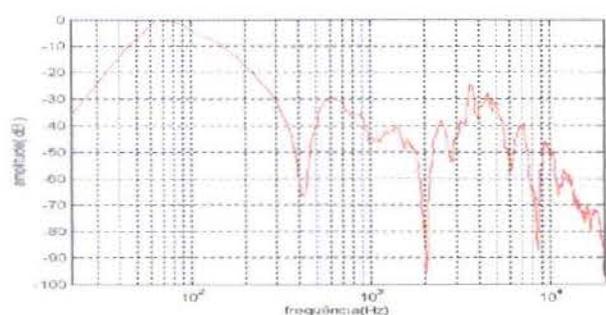


Figura 14g - DEP do estalo articular (Eto1).

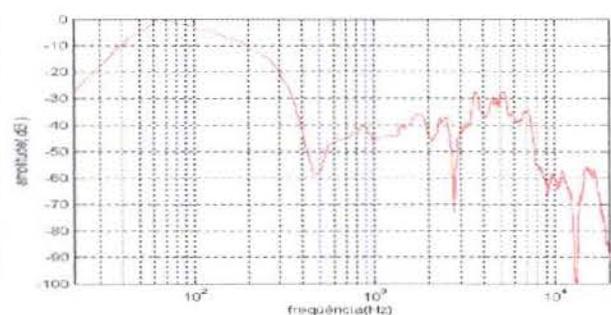


Figura 14h - DEP do estalo articular (Eto2).

No anexo III são apresentados os gráficos referentes à forma de onda, artrosonograma e densidade espectral de potência para sinais típicos de estalos. O anexo IV apresenta as mesmas representações para sinais duplicados.

O baque articular do joelho

Fenômeno sonoro articular transitório de curta duração, algumas vezes ocorrendo de uma forma sistemática, o baque articular do joelho, apresenta como característica acústica, a sensação sonora de um som grave e forte.

A tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença e à ausência do baque articular do joelho.

BAQUE ARTICULAR			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos Assintomáticos	35 (24,1%)	110 (75,9%)	145
Joelhos Sintomáticos	21 (30,0%)	49 (70,0%)	70
Total	56	159	215

Tabela 4: Presença e ausência de baque articular em joelhos sintomáticos e assintomáticos

A figura 15, ilustra as porcentagens da presença e da ausência do baque articular, observado no total da amostra para os joelhos assintomáticos e sintomáticos. Foram observados baques nas gravações de 35 joelhos assintomáticos e 21 sintomáticos, ou seja, em 24,1% e 30,0% respectivamente. Foi observado também, a sua ausência em 110 joelhos assintomáticos e em 49 sintomáticos, correspondendo respectivamente à 75,9% e 70,0%.

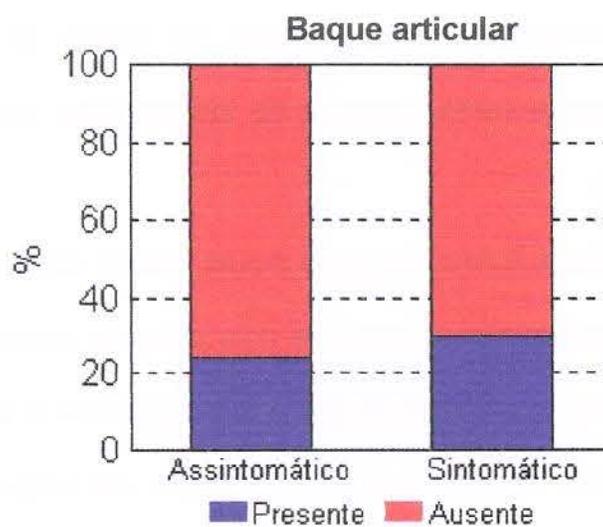


Figura 15 - Presença e ausência do baque articular do joelho em porcentagem entre o tipo assintomático e o tipo sintomático.

O teste χ^2 não indicou a existência de diferença significativa entre a presença e a ausência do baque articular entre os joelhos assintomáticos e sintomáticos, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

É importante ser citado que igualmente ao estalo articular, o baque ocorreu sistematicamente, em 26 gravações do total da amostra no mesmo ângulo do ciclo de movimento, sempre durante a fase de extensão do joelho. Esta repetição do fenômeno foi observada em 9 gravações de joelhos assintomáticos e em 17 gravações de joelhos sintomáticos, ou seja, em 25,7% e 81,0%, do total de cada tipo, respectivamente

O teste χ^2 indicou que existe uma diferença significativa entre a presença e a ausência do baque articular sistemático entre os dois tipos de joelhos analisados, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

O trecho da gravação do som articular do joelho de referência 2/08, foi selecionado para ser usado como exemplo na identificação, análise e descrição do baque articular do joelho.

A figura 16a mostra a **forma de onda** desse trecho, com um tempo de duração de 4 segundos e nela podem ser observados dois picos de onda de grande amplitude se sobressaindo em relação aos demais picos que compõem o sinal. O primeiro pico, relativo ao baque 1 (Bq1) e o segundo pico, relativo ao baque2 (Bq2), ocorreram, respectivamente, na escala do tempo em 0,3 segundos, e 2,4 segundos, aproximadamente, durante a fase de extensão do joelho.

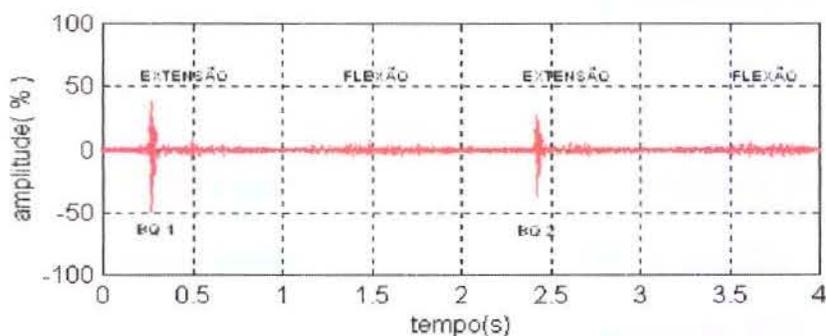


Figura 16a - Forma de onda de um articular, ilustrando a presença de dois baques articulares do joelho: Bq1 e Bq2. Ref. 2/08.

O **espectrograma** do mesmo trecho está representado na figura 16b, para frequências até 20.000 Hz e nela pode-se notar que a concentração de energia do sinal de grande intensidade está localizada em baixa frequência.

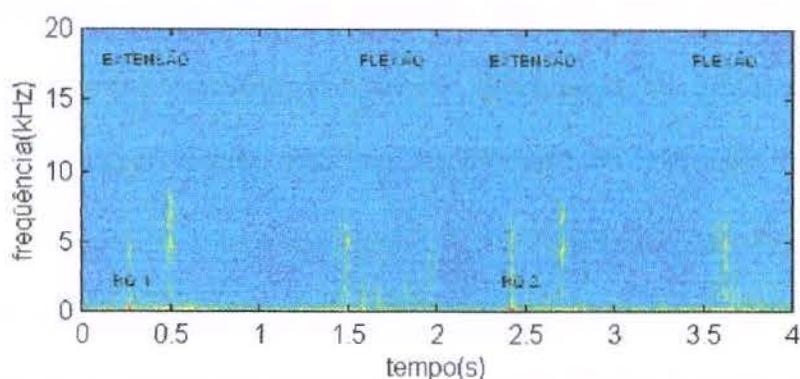


Figura 16b - Espectrograma de um sinal articular para frequências até 20.000 Hz, ilustrando a presença de dois baques articulares do joelho: Bq1 e Bq2.

A figura 16c, para frequências até 2.000 Hz, mostra com clareza que a distribuição de energia de grande intensidade está entre 100 Hz e 200 Hz, aproximadamente. Além disso, os dois baques articulares são identificados como fenômenos que também apresentam uma energia de grande intensidade, e neste caso, os picos por eles gerados se estendem em níveis de frequências próximo de 500 Hz.

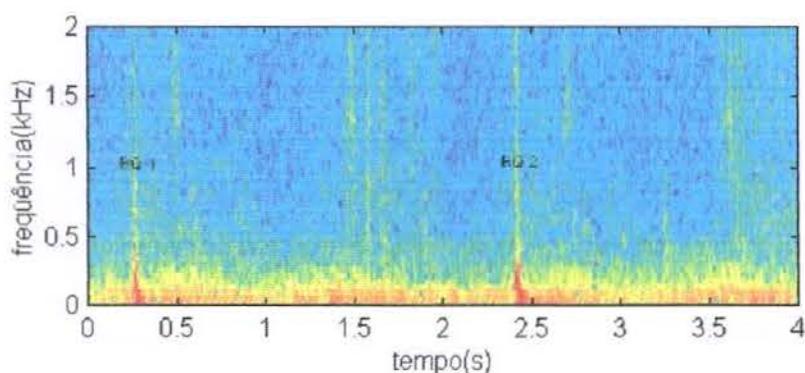


Figura 16c - Espectrograma de um sinal articular para frequências até 2.000 Hz, ilustrando a presença de dois baques articulares do joelho: Bq1 e Bq2.

As figuras 16d e 16e referem-se a trechos com duração de 0,1 segundo, gravação referente à figura 16a, onde se localizam os dois baques articulares (Bq1 e Bq2), respectivamente. Estas duas figuras serão usadas para demonstrar a semelhança morfológica e dinâmica entre os dois baques, quando estes ocorrerem de forma sistemática. Como pode ser observado, os dois fenômenos sonoros, assim como o estalido e o estalo articular, se manifestam em um tempo muito curto de duração, nestes dois exemplos, aproximadamente, 0,4 segundos.

Observa-se também na figura referente ao primeiro baque, precedendo o fenômeno articular, entre 0 e 0,03 segundos na escala de tempo, e na figura referente ao segundo baque, entre 0 e 0,04 que a onda aperiódica que precede cada fenômeno, se confunde com a linha zero de referência de amplitude do sinal.

Logo a seguir, se observa a formação de uma onda positiva, a origem real do baque articular, sucedida por outra onda negativa, a de maior amplitude do sinal, que se continua em ondas amortecidas até o final do trecho selecionado, tornando a se confundir com a linha zero de referência da amplitude.

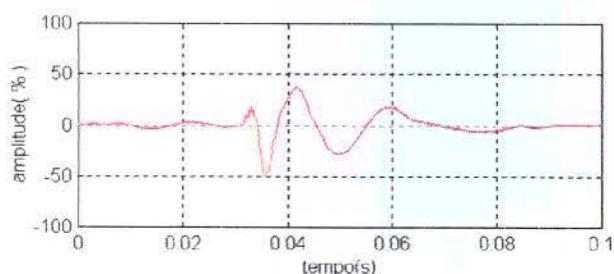


Figura 16d - Forma de onda do Bq1

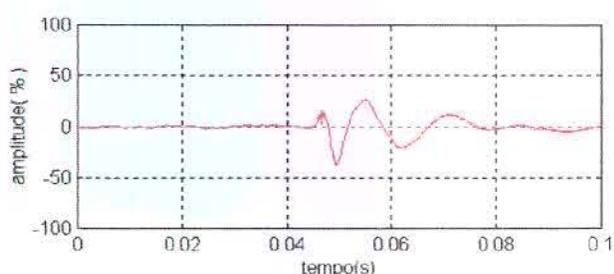


Figura 16e - Forma de onda do Bq2

As figuras 16f e 16g referem-se aos **espectrogramas** dos dois baques analisados. Nestes, podemos observar uma grande concentração de energia, indicando uma forte intensidade na região do sinal para as baixas freqüências, ao redor de 100 Hz a 200 Hz. Este som grave e intenso, parece ser a principal característica do baque articular.

Observa-se também nos espectrogramas que no Bq1 a freqüência se estende até próximo de 5.000 Hz, e no Bq2, até 7.000 Hz, estando entretanto, a intensidade do sinal um pouco diminuída.

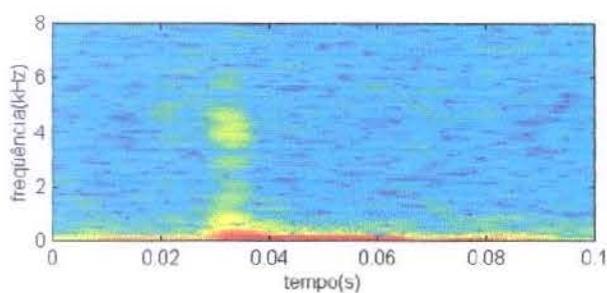


Figura 16f – Espectrograma do Bq1

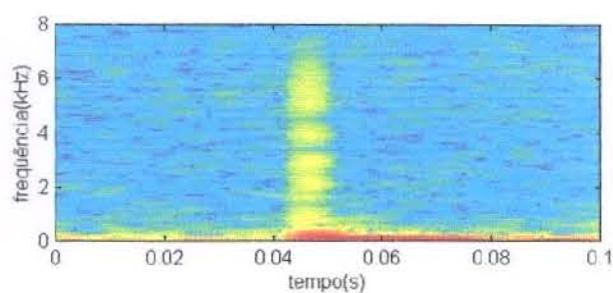


Figura 16g – Espectrograma do Bq2

As figuras 16h e 16i referem-se à **densidade espectral de potência** dos dois baques articulares, deixando claro que praticamente toda a energia dos sinais está concentrada na região relativa às freqüências mais baixas do espectro.

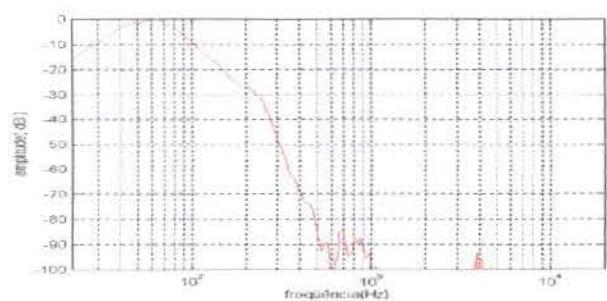


Figura 16h - DEP do Bq1

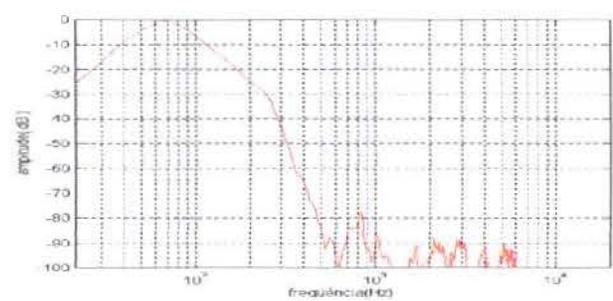


Figura 16i - DEP do Bq2

Portanto, com referência às dimensões ou atributos da onda sonora produzida pelo baque articular, podem ser relacionados três critérios fundamentais:

- o valor da amplitude atingida pelo pico de onda relativa ao baque articular é bem maior do que os valores de amplitude do nível médio referente aos picos de onda advindos do ruído de aquisição do sistema e do ruído de fundo da gravação;
- o som produzido pelo baque articular tem o aspecto sonoro característico de um som grave e de grande intensidade, sendo isto um fator intrínseco deste fenômeno acústico.
- o baque articular, durante os ciclos de movimento do joelho, quando sistemático, ocorre sempre no mesmo ângulo do ciclo de movimento do joelho, mantendo uma periodicidade constante.

No anexo V são apresentados os gráficos referentes à forma de onda, artrosonograma e densidade espectral de potência para sinais típicos de baque. O anexo VI apresenta as mesmas representações para sinais de baque duplicados.

A crepitação articular do joelho

A crepitação articular do joelho em movimento é um fenômeno sonoro observado acusticamente como um som formado por uma sucessão aleatória e ininterrupta de estalidos e estalos articulares, estes podendo ser de pequena, média e grande intensidade. A percepção sonora da crepitação articular é mais forte na fase de extensão do que na fase de flexão do joelho. A crepitação articular é um fenômeno sonoro geralmente presente em joelhos assintomáticos e sintomáticos durante a movimentação ativa desta articulação.

Nas articulações silenciosas, como já descrito anteriormente, não ocorre nenhum tipo de fenômeno sonoro articular audível, sendo, portanto, o seu espectro limpo durante todo ciclo de movimento do joelho.

Nos joelhos onde o padrão sonoro se torna ruidoso, ou seja, onde os fenômenos sonoros articulares passam a ser captados pelo microfone, a crepitação articular apresenta variações no nível da intensidade sonora registrada e também se manifesta nos diversos níveis de frequência.

Do ponto de vista acústico, a crepitação pode ser observada desde a percepção auditiva de um ruído suave, muito sutil, quase que imperceptível, formado por uma sucessão contínua de estalidos muito agudos e de fraca intensidade sonora, até a percepção acústica de um som extremamente ruidoso, de aspecto irritante e grosseiro, formado por uma sucessão contínua de estalos e estalidos de forte intensidade, com sonoridade variando na escala do grave ao agudo.

A crepitação articular, será descrita de acordo com a intensidade sonora do sinal gerado em três tipos: **fraca, forte e intensa**.

Crepitação articular fraca

Neste tipo de crepitação, a sonoridade do fenômeno acústico observado no joelho em movimento é extremamente débil e sutil, chegando perto do limiar de audibilidade. Aqui, o som articular tem como característica a sensação sonora de um suave “espipocar”, formado por estalidos muito agudos e de pequena intensidade, dispostos aleatoriamente durante todo o ciclo de movimento do joelho.

A tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença e à ausência da crepitação articular fraca do joelho.

CREPITAÇÃO ARTICULAR FRACA			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos Assintomáticos	75 (51,7%)	70 (48,3%)	145
Joelhos Sintomáticos	31 (44,3%)	39 (55,7%)	70
Total	106	109	215

Tabela 5 - Presença e ausência de crepitação articular fraca em joelhos sintomáticos e assintomáticos.

A figura 17, ilustra as porcentagens com relação à presença e ausência da crepitação articular, observado no total da amostra para os joelhos assintomáticos e sintomáticos.

Este fenômeno ocorreu em 75 gravações de joelhos assintomáticos e 31 gravações de joelhos sintomáticos, ou seja, em 51,7% e 44,3% respectivamente.

Foi observada a sua ausência em 70 joelhos assintomáticos e em 39 sintomáticos, correspondendo respectivamente à 48,3% e 55,7%.

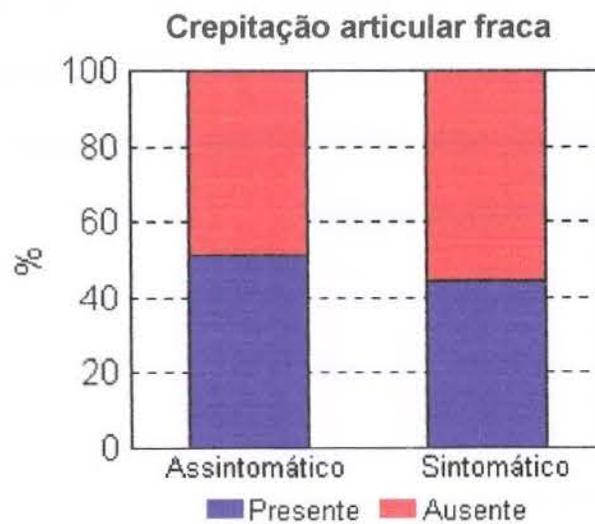


Figura 17 - Presença e ausência em porcentagem da crepitação articular fraca, entre joelhos assintomáticos e sintomáticos.

O teste χ^2 indica que não existe diferença significativa de presença e ausência de crepitação articular fraca entre os dois tipos de joelhos, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

A gravação de referência 1/61 foi selecionada para ser usada como exemplo na representação de um joelho com características de uma crepitação articular fraca.

A **forma de onda** do trecho de uma gravação selecionada para servir como exemplo na descrição da crepitação articular fraca está ilustrado na figura 18a. Nela, observa-se que a onda gerada pelo sinal é aperiódica, sendo portanto o seu movimento vibratório ao acaso e imprevisível, deslocando-se próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal.

Destacados dessa onda, observa-se a presença de raros picos de onda de amplitude muito reduzida, dispostos aleatoriamente ao longo do tempo. Estes picos ocorrem durante as fases de extensão e flexão do joelho, e nunca nos intervalos entre as duas fases. Acusticamente, estes picos de onda se traduzem como a crepitação do tipo suave, sendo esta extremamente sutil.

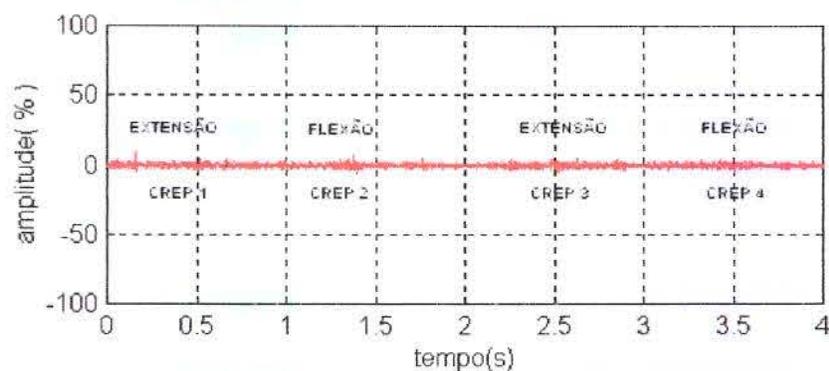


Figura 18 a - Forma de onda do trecho da gravação usada como exemplo, relativa à crepitação articular fraca, durante 2 ciclos de movimento do joelho. Ref. 1/61.

O **espectrograma** do mesmo sinal, observado na figura 18b mostra que a grande concentração de energia do sinal se encontra situado em baixa frequência, sendo esta a região onde o som de grande intensidade está mais concentrado.

Entretanto, ao longo do tempo, se nota que nas fases de extensão e flexão do joelho ocorre picos de onda de intensidade média que se estendem até aproximadamente 10.000 Hz, estando ausentes nos intervalos entre elas.

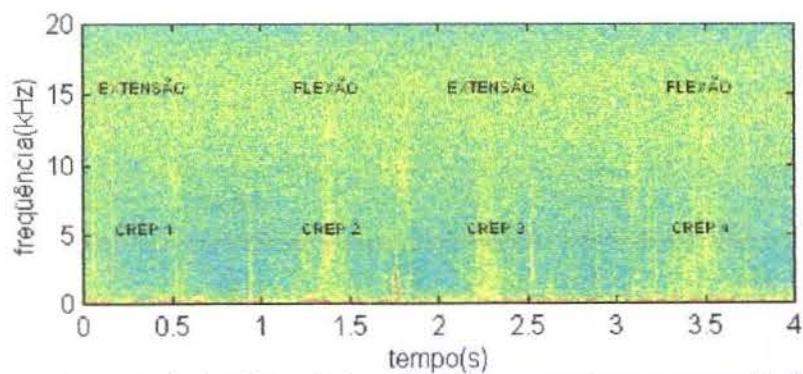


Figura 19b - Espectrograma do trecho selecionado, em que se observa a crepitação articular fraca, para frequências até 20.000 Hz, durante 2 ciclos de movimento do joelho.

A figura 18c refere-se à crepitação articular fraca na sua **forma de onda** ampliada, durante 1 ciclo de movimento do joelho. Nela observamos a onda aperiódica gerada pelo sinal se deslocando bem próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal. Observa-se também, na escala do tempo, no intervalo entre 0,2 e 0,8 segundos e também entre 1,4 e 2,0 segundos, aproximadamente, a presença de picos isolados de pequena amplitude, os quais correspondem auditivamente à crepitação articular fraca, nas fases de extensão e flexão, respectivamente.

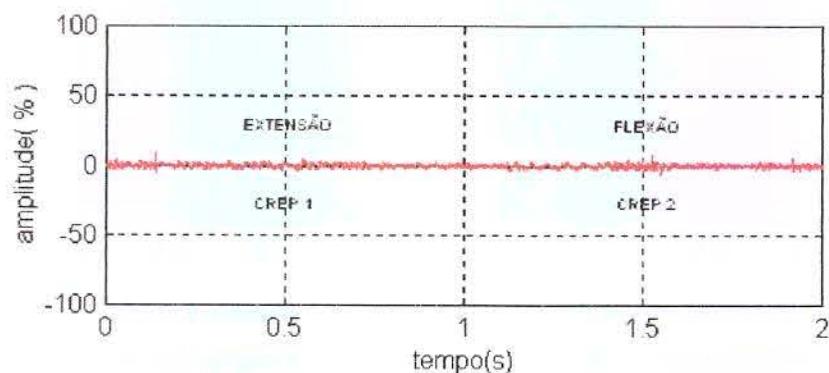


Figura 18c - Forma de onda do trecho da gravação usada como exemplo, relativa à crepitação articular fraca, durante um ciclo de movimento do joelho.

O **espectrograma** da figura 18d para frequências até 20.000 Hz, referente ao trecho selecionado para ilustrar a crepitação articular fraca, mostra com mais clareza, a grande concentração de energia em baixa frequência e raros picos de onda de média intensidade, representando a crepitação articular fraca se estendendo até 15.000 Hz aproximadamente.

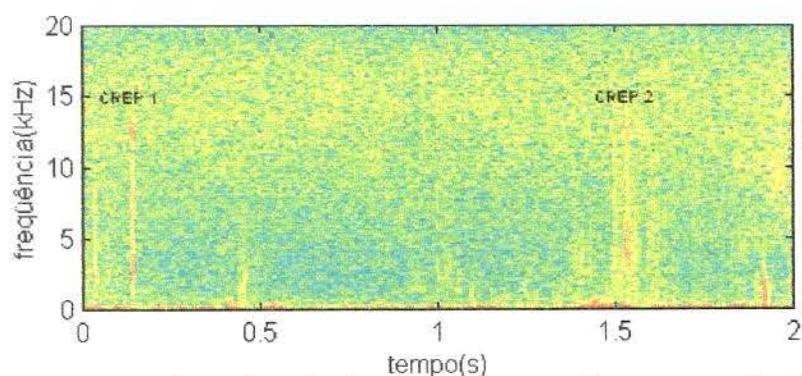


Figura 18d - Espectrograma do trecho selecionado, em que se observa a crepitação articular fraca, para frequências até 20.000 Hz, durante a fase de extensão do joelho.

A gravação de referência 1/45 foi selecionada para ser usada como exemplo na representação de um joelho com características da crepitação articular média.

O gráfico da figura 20a ilustra a **forma de onda** de um trecho selecionado de uma gravação com duração de 4 segundos, correspondente a dois ciclos de movimento do joelho e que será usada como exemplo para representar a crepitação articular do tipo média.

Nela, observa-se que a onda gerada pelo sinal é aperiódica, sendo portanto o seu movimento vibratório ao acaso e imprevisível, deslocando-se ao longo de todo o trecho selecionado próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal.

Destacando-se dessa onda, observa-se a presença de picos de amplitude média, dispostos aleatoriamente ao longo da escala do tempo, ocorrendo somente durante as fases de extensão e flexão do joelho.

Acusticamente, estes picos de onda se traduzem como a crepitação do tipo suave, sendo esta perfeitamente audível, não sendo necessário que se faça nenhum esforço para percebê-las.

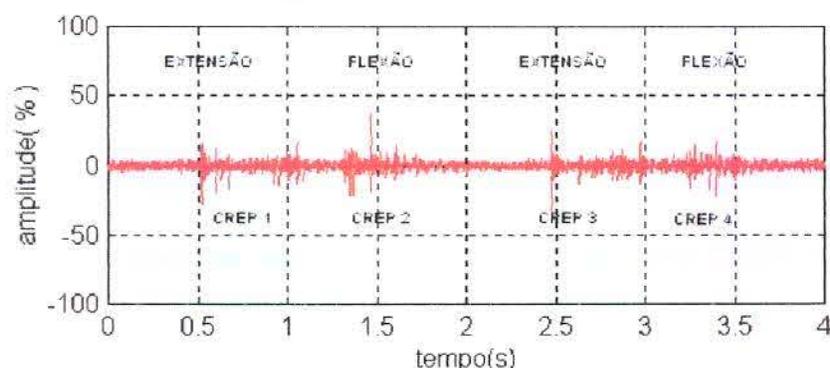


Figura 20a - Forma de onda do exemplo referente à crepitação articular média durante 2 ciclos de movimento do joelho. Ref. 1/45.

Na figura 20b observamos o **espectrograma** deste sinal para frequências até 20.000 Hz e neste identificamos uma grande concentração de energia em baixa frequência.

Entretanto, como pode ser observado na figura, durante as fases de extensão e flexão do joelho ocorre uma maior concentração dos picos de onda, estes com componentes importantes de média e grande intensidade, com altas frequências que se estendem até próximo de 18.000 Hz.

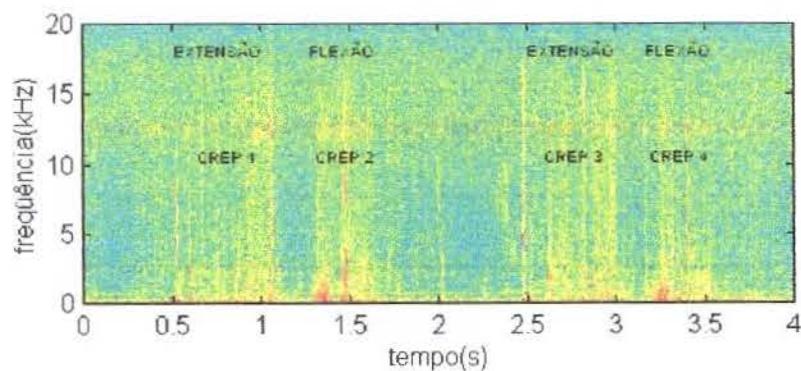


Figura 20b – Espectrograma do trecho selecionado, onde se observa a crepitação articular média, durante 2 ciclos de movimento do joelho.

A figura 20c refere-se à crepitação articular média na sua **forma de onda** ampliada, durante a fase de extensão do joelho, no tempo transcorrido de 1 segundo.

Nela observamos a onda aperiódica gerada pelo sinal se deslocando próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal. Observa-se também, no intervalo de tempo entre 0,2 a 0,9 segundos e 1,1 a 1,5 segundos, a presença de picos isolados de maior amplitude, os quais correspondem auditivamente à crepitação articular média durante a extensão e flexão do joelho, correspondendo à um ciclo do seu movimento.

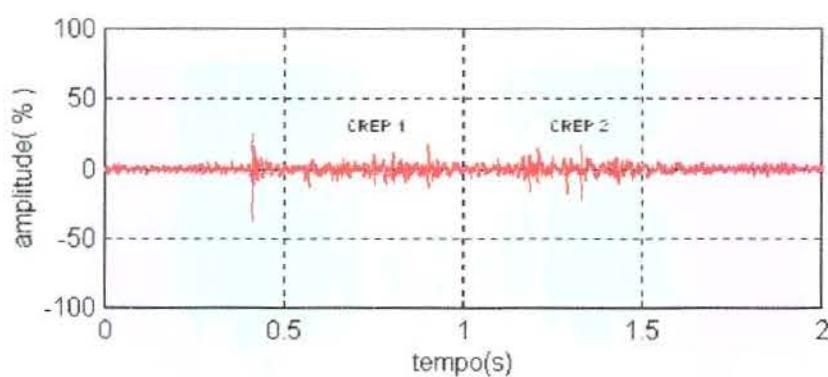


Figura 20c - Forma de onda do trecho da gravação usada como exemplo, relativa à crepitação articular média, durante um ciclo de movimento do joelho.

O **espectrograma** observado na figura 20d para frequências até 20.000 Hz refere-se ao trecho selecionado para ilustrar a crepitação articular média do joelho, durante um ciclo de movimento.

Nela notamos a grande concentração de energia em baixa frequência, além de diversos picos de onda de grande e média intensidade, no tempo já descrito, representando a crepitação articular média durante a extensão e flexão do joelho, estes se estendendo até 18.000 Hz aproximadamente.

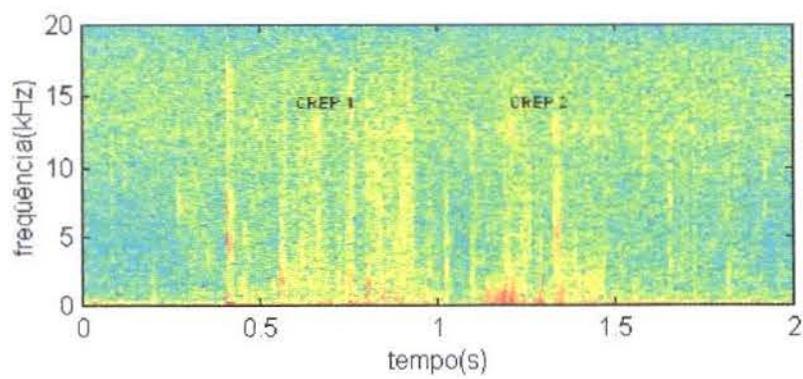


Figura 20d - Espectrograma relativo à crepitação articular média, para frequências até 20.000 Hz, durante um ciclo de movimento do joelho.

Crepitação articular forte

Na crepitação articular forte, a sonoridade dos fenômenos sonoros observados no joelho em movimento é muito ruidosa, impressionando sobremaneira a sensibilidade auditiva. Neste caso, o som articular é bastante discordante, formado por um espipocar fortíssimo, que assim como na crepitação média, se apresenta composto de uma série contínua e aleatória de estalos e estalidos durante as fases de extensão e de flexão do joelho.

A tabela 7 apresenta uma síntese dos resultados obtidos do total da amostra dos joelhos analisados com relação à presença e à ausência da crepitação articular forte do joelho.

CREPITAÇÃO ARTICULAR FORTE			
	Presença	Ausência	Total
Joelhos Assintomáticos	14 (9,7%)	131 (90,3%)	145
Joelhos Sintomáticos	12 (17,1%)	58 (82,9%)	70
Total	26	189	215

Tabela 7 - Presença ou ausência de crepitação articular forte em joelhos assintomáticos e sintomáticos

A figura 21 ilustra os valores em porcentagem de ocorrência da crepitação articular forte, observada nas gravações dos joelhos assintomáticos e sintomáticos. Este fenômeno ocorreu em 14 gravações ou 9,7% dos joelhos assintomáticos e em 12 gravações, ou seja, em 17,1% dos joelhos sintomáticos.

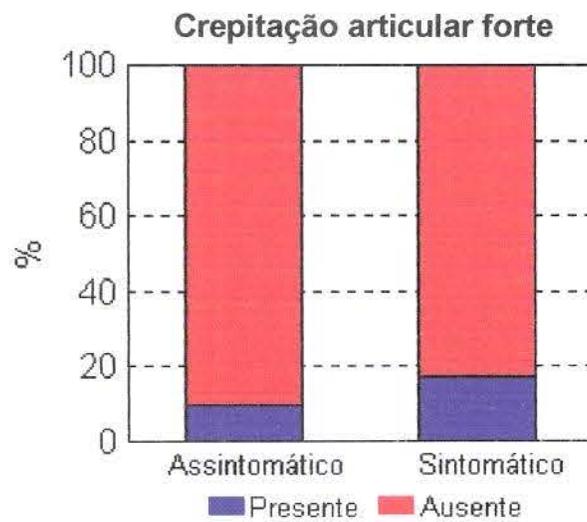


Figura 21 - Presença e ausência em porcentagem da crepitação articular forte, entre joelhos assintomáticos e sintomáticos

O teste χ^2 indica que não existe diferença significativa de presença e ausência de crepitação articular forte entre os dois tipos de joelhos, adotando-se um intervalo de 95% de confiança.

Na figura 22b observamos o **espectrograma** para frequências até 20.000 Hz, referente ao trecho selecionado para ilustrar a crepitação articular forte, durante dois ciclos de movimento do joelho. Nela notamos uma grande concentração de energia distribuída nas frequências baixas e diversos picos de onda de grande e média intensidade, estendendo-se aproximadamente até 10.000 Hz durante as fases de extensão e flexão do joelho.

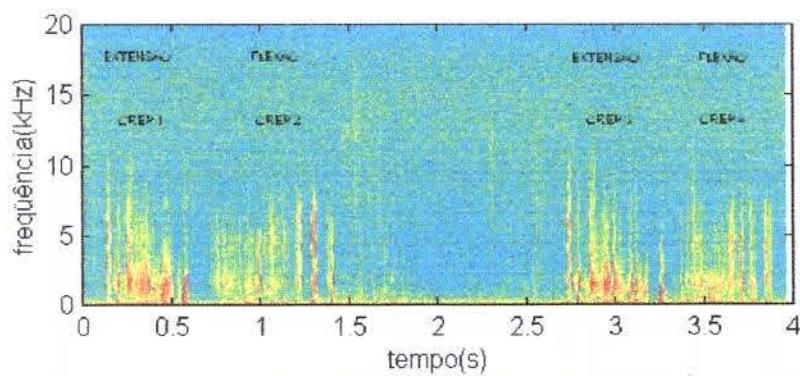


Figura 22 b - Espectrograma de um sinal articular para frequências até 20.000 Hz referente à crepitação articular forte durante dois ciclos de movimento do joelho.

A figura 22c refere-se à crepitação articular forte na sua **forma de onda** ampliada, durante um ciclo de movimento do joelho. Nela observamos a onda aperiódica gerada pelo sinal se deslocando bem próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal.

Observa-se também, na escala do tempo, no intervalo entre 0,2 e 0,6 segundos e 0,8 e 1,4 segundos, aproximadamente, a presença de picos isolados de grande amplitude, deslocando-se em relação à linha zero de referência do sinal, os quais correspondem auditivamente à crepitação articular forte, durante a fase de extensão (crep. 1) e flexão (crep. 2) do joelho.

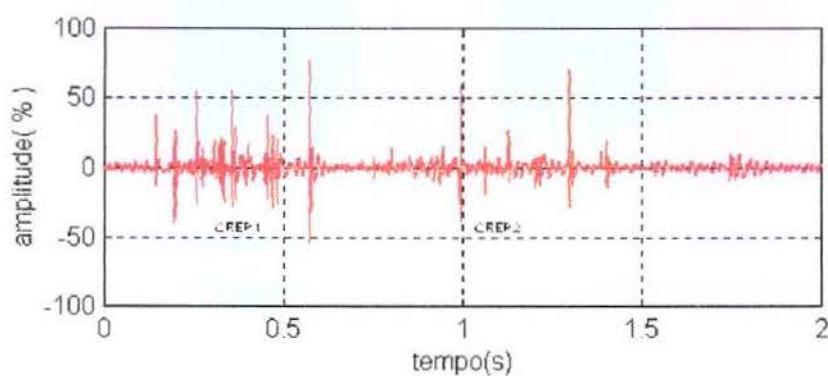


Figura 22c - Forma de onda do trecho da gravação usada como exemplo, relativa à crepitação articular forte, durante um ciclo de movimento do joelho.

O **Espectrograma** da figura 22d para frequências até 20.000 Hz refere-se ao trecho selecionado para ilustrar a crepitação articular forte, durante um ciclo de movimento do joelho. Nela notamos a grande concentração de energia em baixa frequência e diversos picos de onda de grande e média intensidade, durante a extensão (crep. 1) e flexão (crep. 2) do joelho, representando a crepitação articular forte, estes se estendendo até 10.000 Hz aproximadamente.

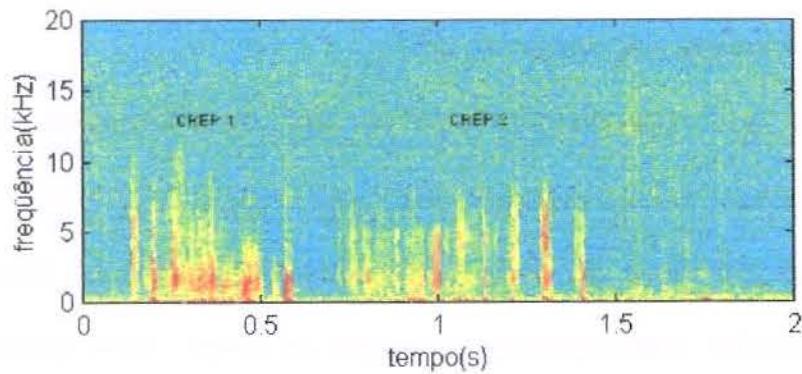


Figura 22d - Espectrograma de um sinal articular para frequências até 20.000 Hz referente à crepitação articular forte durante um ciclo de movimento do joelho.

No anexo VII são apresentados os gráficos referentes à forma de onda e artrosonogramas para sinais típicos de crepitação articular.

CARACTERÍSTICAS SUBJETIVAS RELATIVAS À INTENSIDADE DOS FENÔMENOS SONOROS ARTICULARES

Qualidades das ondas sonoras de um joelho com padrão sonoro articular silencioso

A gravação selecionada como exemplo para representar o joelho que apresenta padrão sonoro silencioso é a de referência 2/11.

A **forma de onda** gerada pelo som de uma das gravações do joelho em movimento com padrão sonoro articular silencioso, figura 23a, mostra que esta é aperiódica, formada por picos de onda distribuídos aleatoriamente, sendo estes de amplitude muito reduzida, deslocando-se na escala do tempo, muito próximos da linha zero de referência da amplitude do sinal.

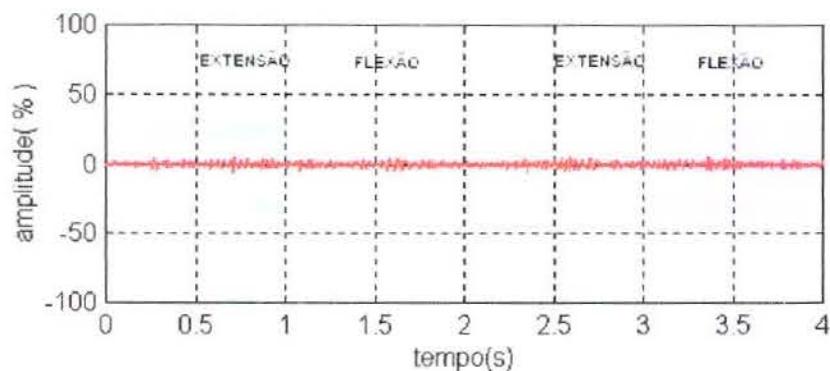


Figura 23a - Forma de onda do sinal articular referente à um joelho com padrão sonoro articular silencioso. Ref. 2/11.

A figura 23b, mostra o **espectro de frequência** do mesmo sinal, para frequências até 20.000 Hz. Nela podemos notar a ausência de qualquer fenômeno sonoro articular se projetando no espectro, podendo este ser considerado como um sendo praticamente "limpo".

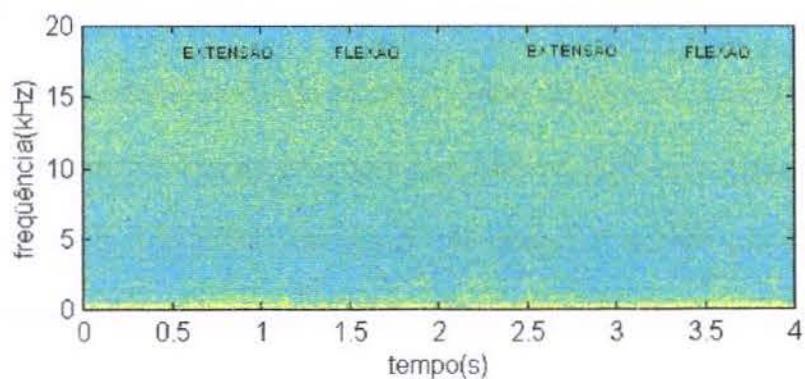


Figura 23b - Espectro de frequência até 20.000 Hz do sinal articular referente ao joelho com padrão sonoro articular silencioso.

Qualidades das ondas sonoras de um joelho com padrão sonoro articular fraco.

A gravação de referência 1/61 foi selecionada para ser usada como exemplo na representação de um joelho com padrão sonoro articular fraco. Este tipo de padrão sonoro se caracteriza acusticamente por apresentar uma sonoridade percebida como uma crepitação aguda sutil e muito suave, sendo esta um pouco mais forte nas fases de extensão do que nas fases de flexão do joelho. Pode ocorrer também, durante extensão ou flexão do joelho, a ocorrência de estalido, estalo ou o baque articular. É fácil de ser percebido, que durante a transição entre a extensão e a flexão do joelho este se mantém silencioso, predominando o ruído de fundo, extrínseco à gravação.

A figura 24a, se refere à **forma de onda** de um joelho com padrão sonoro articular fraco. Nesta, durante todo o tempo transcorrido da gravação, tanto nas fase de extensão quanto de flexão do joelho, é possível se observar a ocorrência de alguns picos isolados de pequena amplitude, distribuídos aleatoriamente, bem próximos da linha zero de referência da amplitude do sinal. Estes picos se traduzem acusticamente na crepitação articular fraca.

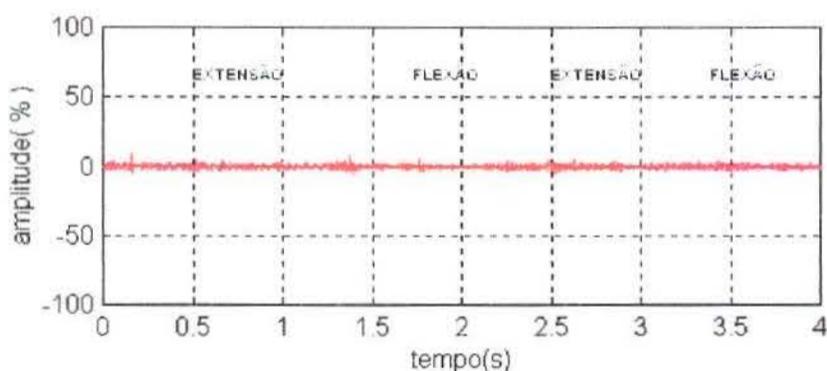


Figura 24a - Forma de onda gerado por um sinal referente a um joelho de padrão sonoro articular fraco. Ref.1/61

O **espectrograma** deste sinal, para frequências até 20.000 Hz, figura 24b, mostra, como no joelho com padrão sonoro silencioso, uma maior concentração de energia do sinal de grande intensidade distribuída na região onde se encontram as frequências mais baixas do espectro.

Além disso, observa-se também uma distribuição de energia de média intensidade e frequências um pouco mais altas, se estendendo até 10.000 Hz aproximadamente, nas fases de extensão e flexão do joelho.

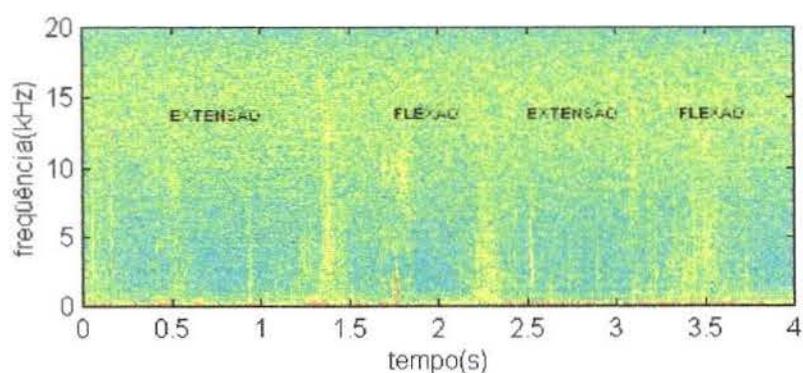


Figura 24b - Espectro de frequência do sinal gerado por um joelho de padrão sonoro articular fraco para frequências até 20.000 Hz.

Qualidades das ondas sonoras de um joelho com padrão sonoro articular médio.

A gravação de referência 2/30 foi selecionada para ser usada como exemplo na representação de um joelho com padrão sonoro articular médio. O padrão sonoro articular médio apresenta como característica acústica a sonoridade de uma crepitação aguda, nas fases de extensão e flexão do joelho e no intervalo entre as duas fases, apresenta-se silencioso.

A crepitação percebida auditivamente, é semelhante à de um “espipocar” ruidoso, derivado de uma sucessão contínua de estalidos que ocorrem muito próximos uns dos outros, sendo esta, mais forte na fase de extensão do que na fase de flexão do joelho. Eventualmente, como no padrão articular fraco, pode ocorrer também, durante os movimentos do joelho, a presença isolada de outros fenômenos sonoros articulares como o estalido, o estalo e o baque articular.

A Figura 25a, mostra a **forma de onda** do joelho de padrão sonoro articular médio. Nela, observamos nas fases de extensão e flexão do joelho uma distribuição aleatória de picos de onda com amplitude média em relação à linha zero de referência do sinal. Na transição entre as duas fases, como sempre é observado nas gravações do som articular do joelho, os picos de ondas apresentam uma amplitude extremamente baixa, se deslocando praticamente junto à linha zero de referência.

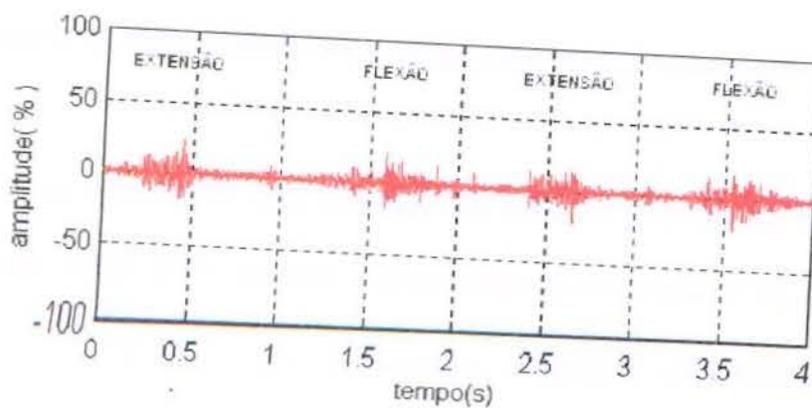


Figura 25a - Forma de onda do sinal de um joelho com padrão sonoro articular médio. Ref. 2/30

O **espectrograma** do sinal relativo ao joelho com padrão sonoro articular médio, para frequências até 20.000 Hz, figura 25b, mostra, como nos joelhos com padrão *sonoro silencioso e fraco*, uma maior concentração de energia do sinal de grande intensidade distribuída na região onde se encontram as frequências mais baixas do espectro.

Além disso, observa-se também uma distribuição de energia de média intensidade e frequências um pouco mais altas, se estendendo até 10.000 Hz aproximadamente, durante as fases de extensão e flexão do joelho.

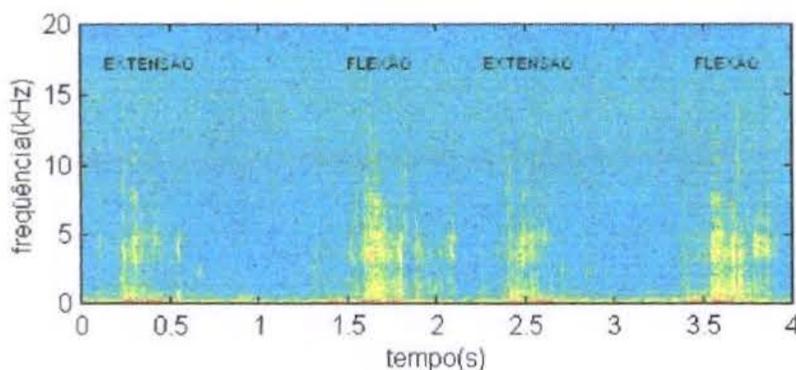


Figura 25b - Espectro de frequência do sinal gerado por um joelho com padrão sonoro articular médio, para frequências até 20.000 Hz.

Qualidades das ondas sonoras de um joelho com padrão sonoro articular forte.

A gravação de número 4/02 foi selecionada para ser usada como exemplo na representação de um joelho com padrão sonoro articular forte. Este, apresenta como característica acústica uma crepitação extremamente ruidosa, do início ao fim do ciclo de movimento, gerada por uma sucessão contínua de estalos e estalidos, estes mais concentrados na fase de extensão do joelho. Na transição entre as duas fases, como nos casos anteriores, o trecho se apresenta silencioso.

A **forma de onda** do joelho com padrão sonoro articular forte pode ser observada através da figura 26a. Durante as fases de extensão e flexão do joelho, ela apresenta uma distribuição de picos de onda aleatórios e de grande amplitude em relação à linha zero de referência do sinal.

Como nos casos analisados anteriormente, na transição entre as duas fases do ciclo de movimento ocorrem picos de onda de amplitude reduzida se projetando aleatoriamente próximo à linha zero de referência.

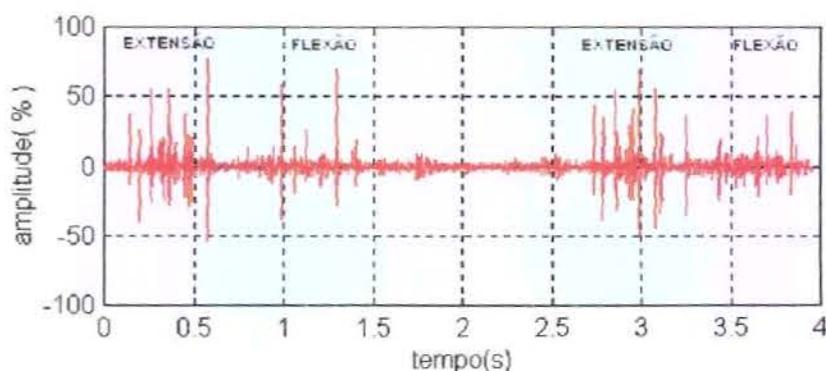


Figura 26a - Forma de onda gerado por um sinal referente a um joelho de padrão sonoro articular forte. Ref. 4/02

O **espectrograma** do sinal relativo ao joelho com padrão sonoro articular médio, para frequências até 20.000 Hz, figura 26b, mostra, como nos joelhos com padrão sonoro silencioso, fraco e médio, uma maior concentração de energia do sinal de grande intensidade distribuída na região onde se encontram as frequências mais baixas do espectro.

Além disso, observa-se também uma distribuição de energia de forte intensidade e frequências se estendendo até 10.000 Hz aproximadamente, durante os dois ciclos de movimento do joelho.

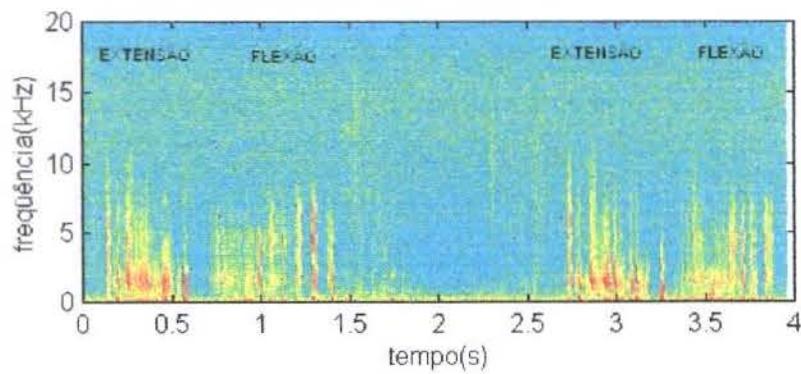


Figura 26b - Espectro de frequência do sinal gerado por um joelho com padrão sonoro articular forte, para frequências até 20.000 Hz.

DISCUSSÃO

DISCUSSÃO

A artrosonografia é um método não-invasivo de análise que usa o microfone como um sensor para a gravação dos sons articulares. O aperfeiçoamento desta técnica na aquisição e interpretação dos fenômenos sonoros articulares, tem como objetivo, detectar e identificar estes fenômenos os quais são gerados pelas articulações sinoviais em movimento e conseqüentemente, utilizar esta técnica como um instrumento auxiliar não-invasivo, no diagnóstico de alterações articulares.

A partir da introdução da eletrônica neste campo de pesquisa, a técnica artrosonográfica vem sendo melhor estudada e se aperfeiçoando, embora lentamente. Atualmente, é possível através da computação, detectar com mais rapidez e melhor eficiência os fenômenos sonoros articulares através da "auscultação".

Desde as primeiras publicações sobre os "ruídos articulares" na fase em que o somente o estetoscópio era utilizado como instrumento de análise, nota-se que a preocupação dos pesquisadores sempre foi a de encontrar uma aplicação prática para este conhecimento. Assim como ocorreu, por exemplo, em relação aos sons cardíacos e pulmonares, que há muito tempo são usados na clínica médica como fenômenos sonoros de grande utilidade, que auxiliam no diagnóstico de diversas doenças relacionadas a estes dois órgãos, o som articular pode também, da mesma forma, vir a ser utilizados na detecção das condições anatomo-fisio-patológicas das diversas articulações sinoviais do corpo humano.

Entretanto, ainda se faz necessário estabelecer e aprovar uma metodologia de análise, com critérios bem definidos relacionados à interpretação dos sons articulares registrados, para que estes sejam aceitos cientificamente. Só assim, a artrosonografia pode deixar de ser uma técnica experimental e passar a ser utilizada como mais um instrumento de auxílio no diagnóstico das doenças articulares.

Como pode ser observado na história do estudo dos sons articulares, as referências bibliográficas relativas aos trabalhos publicados são escassas, e intercaladas por períodos relativamente longos. Por este motivo, neste capítulo, a confrontação dos resultados aqui encontrados será feita de forma cronológica em relação aos pesquisadores do primeiro e do segundo período do estudo do som articular, os quais contribuíram para o seu desenvolvimento.

No primeiro período deste estudo, os pesquisadores usaram somente do estetoscópio como instrumento de análise na auscultação direta das articulações, interpretando de uma forma subjetiva, através da audição, os fenômenos sonoros articulares observados. Já no segundo período, estes fenômenos passaram a ser registrados graficamente e armazenados para estudos posteriores, com a ajuda de novos equipamentos eletrônicos, dando início assim à uma nova fase neste campo de estudo.

No desenvolvimento deste capítulo, foi encontrada uma certa dificuldade para se fazer comparações dos resultados aqui obtidos com aqueles encontrados e relatados pelos pesquisadores pertencentes à primeira fase do estudo dos sons articulares, pois como já foi mencionado, os resultados de suas análises foram baseados somente na

interpretação subjetiva da audição, através do uso do estetoscópio, instrumento aqui não utilizado.

Entretanto, embora o estetoscópio não tenha sido usado nesta pesquisa como instrumento de análise na auscultação dos sons articulares, estes foram num primeiro momento, interpretados através da impressão sonora por eles gerados e registrados na fita eletromagnética, utilizando-se também do aspecto subjetivo do sentido da audição. Portanto, mesmo que estes autores não tenham deixado nenhum tipo de registro dos sons auscultados, buscou-se nesta pesquisa, utilizando também da subjetividade da audição, comparar as características sonoras dos sons articulares por eles relatados em seus trabalhos com aqueles obtidos nas gravações aqui executadas .

Dos autores desse período, HEUTER (1885) e LUDLOFF (1906), não relatam suas observações quanto aos ruídos articulares auscultados nos joelhos ao contrário dos demais que assim o fizeram.

BLODGETT (1902), discriminou através da auscultação, sons no joelho em movimento descritos como sendo estalidos e chiados de suave sonoridade, além de ruídos discordantes de aspecto grosseiro. Com relação à estas observações, parece sensato supor que estes sons descritos, correspondem, respectivamente, à crepitação articular fraca e à crepitação articular forte, observadas neste trabalho.

BIRCHER (1913), caracterizou o som articular do joelho normal, como praticamente inaudível, identificando apenas um espipocar leve e suave. Com relação à este resultado, não foi possível concordar plenamente com o autor uma vez que nesta pesquisa foi observado dentre os 145 joelhos assintomáticos analisados, fenômenos sonoros que se reproduziram na forma de crepitação articular. Esta, esteve presente

em 133 joelhos, ou seja, em 91,7% da amostra. Destes, 75 apresentaram a crepitação articular fraca, na qual, os sinais observados parecem se assemelhar ao que o Bircher caracterizou como o som articular do joelho normal; além disso, 44 casos apresentaram a crepitação articular média, relativamente ruidosa e somente 14 apresentaram a crepitação articular forte, esta bastante ruidosa. Este autor, foi quem primeiro investigou lesões do menisco através do som, durante o movimento articular. Entretanto não foi possível fazer qualquer tipo de consideração com relação às lesões meniscais pois este não foi o objetivo desta pesquisa.

Dos pesquisadores desta primeira fase, WALTERS (1929) fez uma classificação consistente com relação aos sons articulares por ele auscultados. Do total de 1.600 articulações sinoviais analisadas, das diversas do corpo humano, normais e patológicas, o autor classificou 5 tipos articulares: suave, áspero, rangentes I, II e III. O autor não cita o número de joelhos analisados, preferindo generalizar os seus resultados em função de todas as articulações auscultadas. Neste caso, a articulação do tipo suave, descrita como inaudível pelo autor, não ocorre a presença de qualquer som articular. Esta pode ser comparada ao joelho do tipo sonoro silencioso aqui encontrado, em cuja análise auditiva da gravação, também não foi observado nenhum som audível relativo a qualquer fenômeno sonoro articular. Do mesmo modo, a articulação do tipo áspero, audível como um som fraco e a rangente I e percebida como um som semelhante à crepitação provocada pelo "roçar do cabelo entre os dedos", parece se assemelhar ao som produzido pelo joelho do tipo sonoro articular fraco, observado neste estudo. Já a articulação do tipo rangente II, percebida como uma crepitação ruidosa e áspera, parece pode ser aqui comparada ao som produzido pelo

joelho com o tipo sonoro médio. Finalmente, a articulação do tipo rangente III, com características sonoras de uma crepitação muito forte e áspera, tudo indica corresponder ao som produzido pelo joelho de padrão sonoro articular forte. Com relação a este autor, fica portanto a intenção de se fazer uma confrontação em termos subjetivos dos resultados, uma vez que neste estudo, a amostra analisada se restringiu apenas à articulação do joelho.

Com Walters, se encerra a primeira fase do estudo dos sons articulares e se inicia uma nova fase onde os sons começaram a ser captados e registrados através da adaptação de equipamentos eletrônicos, permitindo que fossem armazenados em arquivos, possibilitando analisá-los através de novos parâmetros, o que representou um grande avanço no estudo da artrosonografia.

ERB (1933), utilizou pela primeira vez um microfone de contato na gravação dos sons articulares, adaptando-o para captar os diferentes fenômenos sonoros, usando um amplificador acoplado a um osciloscópio e apresentando seus resultados graficamente. O autor não faz comentários sobre às gravações de joelhos normais, mas relata para os joelhos patológicos portadores de condromalácia, artrite deformante e lesões de menisco, a ocorrência de “estranhos sons minimizados”. Neste caso, parece que o equipamento utilizado em sua pesquisa pouco favoreceu na análise dos sons registrados, ficando difícil, fazer uma comparação com os resultados por ele apresentados, pois, haja visto que nesta pesquisa, 98,6% do total dos joelhos sintomáticos manifestaram a presença de fenômenos sonoros articulares que se distribuíram em porcentagens diferentes, na forma de crepitação fraca, média ou forte, além de fenômenos rápidos como os estalidos, estalos e baques articulares.

Por outro lado, nossos resultados concordam em parte, com aqueles apresentados por STEINDLER (1937), que auscultou eletronicamente 62 joelhos normais em indivíduos de ambos os sexos: crianças, adultos e velhos, para isto utilizando-se de um estetoscópio modificado, o "cardiofone". Em seu trabalho, o autor usou a intensidade sonora como um parâmetro de medida e identificou uma predominância de joelhos silenciosos, ou quase sempre uniformemente silenciosos em crianças abaixo de dez anos, adolescentes e adultos jovens. Em adultos de meia idade portadores de joelhos normais, observou a presença de ruídos discordantes de maior ou menor intensidade. Fica difícil confrontar os resultados deste estudo com o dos autores pois aqui não houve a preocupação de se fazer uma classificação do som articular em função da idade. De qualquer forma, mais da metade do total da amostra dos joelhos pesquisados ou seja, 63,8% são do tipo sonoro silencioso e fraco.

No trabalho desenvolvido por PEYLAN (1953), o autor utilizou um estetoscópio eletrônico acoplado a um amplificador, analisou diversas articulações do corpo humano, dentre elas a do joelho de pacientes que se queixavam de diferentes doenças reumáticas e também de indivíduos saudáveis os quais nunca tinham tido sintomas clínicos reumáticos. Segundo o autor, o som gerado durante o movimento articular é específico e pode indicar a sua condição normal ou patológica. É possível concordar em parte com o autor, pois foi observado nesta pesquisa determinados sinais que sugerem uma alteração articular. Porém, parece ser necessário que sejam feitos mais estudos a este respeito, porque a gama dos sons articulares gravados é extensa e para que haja uma interpretação exata de todos os fenômenos sonoros observados, existe de fato a necessidade de um maior aprofundamento em suas análises.

FISCHER E JOHNSON (1960), apresentaram em suas pesquisas sobre os ruídos articulares, os resultados artrosonográficos de 76 articulações de joelhos normais e patológicas em indivíduos de ambos os sexos com a idade média para o grupo normal de 35 anos. Foi utilizada na pesquisa um microfone de contato, um gravador, um amplificador e um osciloscópio. A análise dos ruídos baseou-se na análise do espectro de frequência dos ruídos gravados. Os autores comentaram em seus resultados que comparando as ondas produzidas pelos joelhos normais com os patológicos, foram observadas grandes diferenças entre elas. A característica mais comum dos ruídos observados nos joelhos normais, foi a regularidade na intensidade da onda sonora e na sua frequência. Além disso, observaram uma certa uniformidade na forma de onda gerada pelo som articular. Tentando confrontar os nossos resultados com os dos autores, embora as técnicas de aquisição das gravações tenham sido um pouco diferentes, neste estudo, com relação aos joelhos assintomáticos foi observado uma regularidade na intensidade e na frequência das ondas sonoras, distribuídas de acordo com o tipo sonoro articular identificado, ou seja, silencioso, fraco, médio e forte. Com relação aos joelhos patológicos, os autores relatam como resultado significativo, a ocorrência de estalos de grande intensidade e alta frequência, entre 200 e 500 Hz, ocorrendo em intervalos irregulares. Neste caso, não é possível concordar com este resultado pois nesta pesquisa, a porcentagem total da soma entre estalos e estalidos identificados nos joelhos sintomáticos é de 38,6% e nos assintomáticos é de 35,5% com frequências muito altas, em ambos os joelhos, chegando a atingir o limite superior do alcance dinâmico do microfone que é de 20 kHz.

No trabalho desenvolvido por OEHL e col. (1974), nota-se que os autores não estavam preocupados com o reconhecimento, descrição ou elaboração de uma classificação para os ruídos articulares. O objetivo da pesquisa foi o de constatar a possível aplicabilidade da técnica artrosonográfica o que concluíram que através desta é possível dar uma “olhadela” na função articular, não havendo portanto como comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com os dos autores.

CHU et al. (1976a, 1976b, 1978a, 1978b) com esta série de artigos publicados sobre o uso da técnica artrosonográfica no estudo do ruído articular do joelho, introduziram o uso do computador a partir de 1978 na análise destes sinais. Estes, passaram então a ser digitalizados, facilitando sua análise e monitoramento. Além da análise de frequência do ruído gravado, usaram também dois outros parâmetros: a técnica de função de auto-correlação e forma de onda do sinal, para isso, usando uma máquina Polaróide. Com relação à análise da forma de onda, vimos possibilidades de confrontarmos nossos resultados, uma vez que esta técnica refere-se à obtenção de fotos das imagens dos ruídos articulares através da tela do osciloscópio, durante o movimento da articulação. De acordo com a descrição dos autores, a foto que representa o ruído de um joelho normal é constituída por uma faixa densa e picos de amplitudes constantes.

O resultado encontrado neste trabalho, difere um pouco do apresentado pelos autores, uma vez que aqui, foram observados formas de onda diferentes para os joelhos normais. Estas, com o seu padrão de onda alterado, de acordo com as diferentes amplitudes dos picos gerados, como pode ser observado nos joelhos assintomáticos com padrão sonoro articular silencioso, fraco, médio e forte aqui adotado. Nas figuras

utilizadas como exemplo para representar os quatro tipos sonoros identificados, foi possível fazer uma comparação do tipo sonoro articular fraco com o exemplo utilizado pelos autores, para representar a forma de onda do joelho normal por eles descrita, ou seja, uma faixa densa e contínua com inúmeros picos de ondas, deslocando-se próximo da linha zero de referência da amplitude do sinal, em toda sua extensão.

MANG et al. (1980), analisaram através da técnica artrosonográfica os ruídos articulares de joelhos normais e patológicos, além de pesquisarem o valor desta técnica em aplicações práticas no diagnóstico das doenças articulares. Os autores embora façam alusão aos ruídos articulares de joelhos normais por eles observados, não nos fornecem informações quanto aos resultados obtidos, justificando para esta conduta que devido aos componentes articulares e aos tecidos circundantes da articulação, os ruídos captados são poucos para se objetivar. Discordamos em parte destes autores, uma vez que foi registrado em 85,5% das gravações aqui obtidas a presença de algum tipo de fenômeno sonoro articular, parecendo, assim, que a justificativa relatada pelos autores não é totalmente justificável.

MOLLAN e col. (1982) publicaram um artigo, fazendo uma avaliação crítica da técnica artrosonográfica, procurando demonstrar que o uso do microfone é impróprio para a aquisição dos registros sonoros articulares. Os autores afirmaram que o microfone é um transdutor pobre em termos de resposta de frequência e sensibilidade dinâmica para ser usado na captação da emissão sonora articular, devido à grande impedância acústica, e que haveriam muitas dificuldades para se excluir das gravações os ruídos extrínsecos não articulares. Quanto ao aspecto do microfone não ser adequado à aquisição dos registros sonoros, não parece ser verdadeira tal afirmação,

uma vez que nesta pesquisa, ele correspondeu eficazmente à obtenção das gravações dos sons articulares. Com o uso do microfone foi possível a observação dos fenômenos sonoros gravados com mais fidelidade, uma vez que foi possível captar as frequências baixas, médias e altas do som articular do joelho. Quanto às dificuldades para se excluir das gravações os ruídos extrínsecos não articulares, isto também não se tornou um problema, uma vez que, atualmente, existem programas para computador sofisticados que permitem a análise e monitoramento do som gravado com muita eficiência.

Em 1983, MOLLAN e col. publicaram um novo artigo introduzindo nesta área de pesquisa o uso do acelerômetro, um sensor de contato, que funciona como um transdutor eletromecânico das vibrações sonoras articulares. Os autores observaram que a emissão vibratória das articulações em movimento se encontra no limite inferior do espectro, estando a grande concentração da energia do sinal no limite subsônico. Para os autores, os níveis dinâmicos da emissão articular ocorridos nas baixas frequências, tornavam o microfone, como um sensor, inadequado e impreciso para este tipo de análise. De fato, foi observado nesta pesquisa que uma grande concentração de energia dos sinais articulares gravados se encontra distribuída nas baixas frequências, indo desde o limite inferior do alcance dinâmico do microfone utilizado, neste caso 20 Hz, até 200 a 300 Hz, aproximadamente. Entretanto, diferente do que os autores afirmam, neste estudo não foi encontrada dificuldades para se fazer a análise das frequências do fenômeno sonoro situado nesta área do espectro. Além disso, foi também observado neste estudo que existe uma quantidade de energia nos fenômenos sonoros analisados que parecem ter um significado morfo-funcional importante. Esta energia se encontra distribuída nas frequências média e alta, não devendo, portanto ser

desprezada. Desse modo, não é possível concordar com os autores quando alegam que o microfone é um instrumento inadequado para a obtenção dos sons articulares, pois o seu alcance dinâmico não é suficiente para a captação das baixas frequências observadas regularmente nas articulações humanas e que eles são construídos para captar frequências mais altas.

KOTANI e SUZUKI (1983), analisaram os ruídos articulares do joelho utilizando-se do microfone, um analisador de espectro de frequência e um computador. Nos casos de joelhos normais, o resultado da análise da frequência mostrou que os ruídos articulares descreviam curvas baixas no espectro e nos casos de joelhos patológicos curvas elevadas. Também com relação aos resultados obtidos neste estudo, não é possível concordar com os autores, uma vez que nesta pesquisa, foi observado que tanto os joelhos assintomáticos quanto os sintomáticos, além de apresentarem uma grande quantidade de energia em baixa frequência, acusam também, uma quantidade significativa de energia em média e alta frequência.

RICARTE (1987) abordando o tema da artrosonografia, utilizou em sua pesquisa, um microfone e um gravador de rolo acoplado à um eletromiógrafo na gravação dos sinais articulares, apenas de joelhos normais de indivíduos jovens. Baseado na amplitude dos fenômenos acústicos gravados e observados no ecrã do osciloscópio identificou três padrões sonoros articulares: suave, moderado e intenso. Este foi um estudo preliminar sobre os ruídos articulares. O microfone e o gravador utilizados naquela pesquisa foram os mesmos agora usados na continuação deste estudo, além de um gravador digital e um computador. Os resultados obtidos neste trabalho concordam em parte com os apresentados naquela fase do estudo, uma vez que agora,

foram analisados joelhos assintomáticos (normais) e sintomáticos (patológicos). A diferença entre resultados obtidos nos dois estudos é que agora, acrescentou-se à pesquisa, a análise de joelhos sintomáticos, e tanto estes quanto os assintomáticos, foram classificados em quatro tipos sonoros: silencioso, fraco, médio e forte.

A articulação do joelho, de todas as articulações sinoviais é a que mais apresenta comprometimentos no corpo humano. Através de uma estimativa relacionada às doenças articulares, JACKSON & ABE, num artigo de 1972, constataram que entre 65 a 75% das consultas ortopédicas relacionam-se à problemas no joelho. Os trabalhos desenvolvidos até o momento sobre o estudo dos sons articulares do joelho, como pode ser observado, são escassos. De acordo com a literatura, os estudos publicados a partir de 1984 sobre a análise dos sons articulares, podendo ser citados: McCOY e col. (1987) e TAVATHIA e col. (1992), passaram a utilizar o acelerômetro em suas pesquisas, tomando como referência somente a emissão vibratória articular, ou seja, as emissões subsônicas. Dessa forma, iniciou-se um novo campo de pesquisa com relação à análise dos sons articulares concentrado somente nas baixas frequências, ignorando as emissões vibratórias sonoras de alta frequência.

Considerando o estágio dos trabalhos sobre este tema, o objetivo desta pesquisa foi o de retomar o estudo dos sons articulares do joelho através do uso do microfone uma vez que até hoje, eles ainda não foram apresentados com a devida clareza.

Este estudo se propõe também mostrar de uma forma objetiva os fenômenos sonoros articulares, através de suas características particulares, demonstrando-os em relação aos parâmetros fundamentais no estudo do som: a forma de onda, o espectro de frequência e a densidade espectral de potência.

Os fenômenos sonoros articulares aqui descritos são aqueles normalmente encontrados na literatura e que são traduzidos acusticamente na forma de: estalido, estalo, baque e crepitação articular. Estes sinais, pelas suas características intrínsecas, são aqui descritos de forma metódica e criteriosa, ficando demonstrado que a quantidade de energia gerada por eles encontram-se, principalmente situadas nas baixas frequências, mas entretanto, muitos de seus componentes às vezes se estendem até o máximo superior da resposta dinâmica do microfone aqui utilizado que é de 20.000 Hz. A presença das altas frequências nestes sinais, portanto, não pode ser ignorada do fenômeno sonoro como um todo, pois ela faz parte da energia total do sinal, mesmo que a maior concentração dessa energia esteja concentrada nas baixas frequências.

Retomando assim o estudo dos sons articulares do joelho e utilizando-se de recursos tecnológicos modernos para a análise dos fenômenos acústicos, esta pesquisa procurou mostrar que o microfone, embora não capte as baixas frequências geradas abaixo de 20.000 Hz registra fenômenos sonoros articulares em alta frequência, os quais devem ser melhor identificados, definidos e demonstrados cientificamente.

Portanto, considerando os resultados observados neste estudo e no confronto com os trabalhos revisados pode-se concluir que o ganho obtido com a metodologia adotada neste estudo é significativa, uma vez que os fenômenos sonoros articulares observados foram melhor caracterizados. Isto pode ser comprovado, através da representação do sinal articular, o qual parece ser mais fiel a realidade, pois tanto os seus componentes de aspecto sonoro grave, médio e agudo podem ser observados no

espectrograma. Este fato se difere do resultado que se pode obter com a utilização do acelerômetro, ou seja, uma caracterização parcial do fenômeno, já que através dele, só é possível analisar o sinal em suas frequências baixas. Portanto, pode ser observado através deste estudo que o equipamento e a técnica de análise aqui utilizados permitiu uma melhor caracterização do som produzido pela articulação em movimento através da análise da sua composição espectral.

Particularmente, os fenômenos sonoros articulares estalido, estalo, baque e crepitações média e forte, parecem ter sido favorecidas pela metodologia adotada neste estudo porque a caracterização das componentes espectrais de média e alta frequência, puderam ser incorporadas à descrição destes fenômenos.

Apesar dos resultados obtidos, este estudo sugere a possibilidade de serem realizadas outras investigações que pudessem verificar, entre outros aspectos:

1. a estabilidade ou não dos resultados quando o estudo é conduzido em amostras de maior escala, bem como naqueles em que se faz o controle e a correlação de variáveis tais como: sexo, idade, peso, altura e a ocorrência de patologias, quer as de caráter congênito ou adquirido, uma vez que o objetivo deste estudo não foi o de investigar e avaliar estes parâmetros;
2. a correlação com resultados clínicos obtidos por outros métodos de preferência não-invasivos, assim como a correlação com os respectivos diagnósticos; a variação nos resultados se a movimentação for ativa ou passiva;
3. o efeito produzido pela utilização de outros microfones, desde que mantida a região do alcance dinâmico de 20 Hz a 20.000 Hz;

4. a utilização de um equipamento mais simples em que a obtenção do sinal por microfone acoplado diretamente ao sistema multimídia do computador, eliminaria, entre outros aspectos, as diferentes fases em que o sinal passou até o seu processamento final;
5. a viabilidade e validade dos resultados obtidos em ambientes não tratados acusticamente;
6. embora a maior parte da energia produzida pelo joelho em movimento está concentrada abaixo de 100 Hz, existem fenômenos sonoros articulares que produzem componentes com frequência muito acima de 100 Hz.

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Em relação à metodologia utilizada nesta pesquisa, abordando o estudo e a análise dos sons articulares através de processamento digital, foi possível obter as seguintes conclusões.

Os fenômenos sonoros articulares como: estalo, estalido, e crepitação manifestam-se com componentes de alta frequência, atingindo eventualmente, até 20.000 Hz.

Existe diferenças estatísticas significativas com relação à presença (ou ausência) de estalo e estalido em joelhos sintomáticos e assintomáticos.

Portanto, a existência de componentes de alta frequência de alguns dos fenômenos sonoros articulares estudados estão relacionados com os joelhos (as)sintomáticos.

O estudo realizado com a metodologia especificada não tem a pretensão de substituir aqueles desenvolvidos com outros recursos ou metodologias.

Os resultados aqui obtidos podem ser acrescentados aos já disponíveis para efeito de prevenção, diagnóstico e controle de doenças articulares de uma forma não-invasiva.

Seria interessante que novas pesquisas viessem a ser conduzidas por uma equipe multidisciplinar para a elucidação do comportamento dos mecanismos

articulares do ponto de vista anatomo-fisiológico normal e patológico do joelho, em estudos transversais e longitudinais.

A metodologia utilizada permitiu caracterizar adequadamente os fenômenos sonoros articulares do joelho, representando-os através de três parâmetros: a forma de onda do sinal, seu espectro de frequência e a sua densidade espectral de potência.

Apesar da crítica que freqüentemente se faz ao uso do microfone, a sua utilização neste estudo, associada às técnicas aqui empregadas, viabilizou a coleta de um sinal articular de boa qualidade que não se confundiu com os ruídos extra-articulares, existindo ainda a possibilidade de excluí-los da amostra do sinal obtido.

O microfone, positivamente, é um instrumento adequado na aquisição dos sons articulares porque preserva as características espectrais do sinal articular em toda a sua composição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRCHER, E. Zur diagnose der menisculuxationen und das meniscusabrusses. **Zentbl. Chir.**, 40:1852, 1913.

BISHOP, P, J. Evolution of the stethoscope. **J. Royal Medicine.**, 73, 1980.

BLODGETT, W.E. Auscultation of the knee joint. **Boston Med. Surg. J.**, 146: 63, 1902.

CHU, M. L.; GRADISAR, I. A.; ZAVODNEY, L. D. Possible clinical application of a non-invasive monitoring technique of cartilage damage in pathological knee joints. **J. Clin. Eng.**, 3 (1) : 19, 1978a.

_____ ; _____ ; MOSTARDI, R. A non-invasive electroacoustical evaluation technique of cartilage damage in pathological knee joints. **Med. & Biol. Eng. Comput.**, 16: 437, 1978b.

_____ ; _____ ; RAILEY, M. R., BOWLING, G. F. An electroacoustical technique for the detection of knee joint noise. **Med. Res. Eng.**, 12: 18, 1976a.

_____ ; _____ ; _____ ; _____. Detection of knee joint diseases using acoustical patterns recognition technique. **J. Biomechan.** , 9: 111, 1976b.

DeFATTA, D. J., LUCAS, J. G., HODGKISS, S. W. **Digital Signal Processing: A System Design Approach.** John Wiley & Sons: New York, 1988.

ERB, K. H. Über die möglichkeit der registrierung von gelenkgerauschen. **Dt. Z. Chir.**, 241: 237, 1933.

FISCHER, H. & JOHNSON, E. W. Analysis of sounds from normal and pathological knees joints. In: **CONGRESS PHYSICAL MEDICINE**, 3. Washington, 50, 1960.

FRANK, C. F.; RANGARAJ, M. R.; DOUGLAS, G. B. Analysis of knee joint sound signals for non-invasive diagnosis of cartilage pathology. **IEEE Eng. Med. Bio. Magazine**, 65, 1990.

JACKSON, R. W. & ABE, I. The hole of arthroscopy in the management of disorders of the knee: An analysis of 200 consecutive examinations. **J. Bone Joint Surg. (Brit.)**, 54-B:310, 1972.

HEUTER, G. **Grundriss der chirurgie.** Leipzig, Vogel, 1885.

KERNOHAN, W.G. et. al. The diagnostic potential of vibration arthrography. **Clin. Orth. Rel. Research.** 106, 1986.

_____. et al. Vibration arthrometry. **Acta Orthop Scand.** 70, 1990.

KOTANI, K. & SUZUKI, K. Acoustical analysis of joint sound through passive motion.
J. Jap. Orthop. Ass., 3: 49, 1983.

LUDLOFF, K Die auskultation der wirbelsaule, des kreuzbeins und des beckens.
Munchner Med. Wehnsehr., LIII:1196-1198. 1906.

MANG, W.; BIRK, M.; BLUMEL, G. Praktische anwendbarkeit der phonoarthrographie
in der kniegelenksdiagnostik. **Z. Orthop.**, 118: 85, 1980.

McCOY G.F.; McCREA, J. D.; BEVERLAND, D. E.; KERNOHAN, W. G.; MOLLAN, R. B.
Vibration arthrography as a diagnostic aid in diseases of the knee.
J. Bone Joint Surg., 288, 1987.

MOLLAN, R.A.B.; MC CULLAGH, G.C.; WILSON, R.I. A critical appraisal of
auscultation of human joints. **Clin. Orthop. Rel. Res.**, 170:231, 1982.

_____ ; KERNOHAN G. W.; WATTERS P. H. Artefact encountered by the
vibration detection system. **J. Biomechanics** 16:193, 1983.

OEHL, R.; BOHNENBERG, J; HEIKELMANN, W.; PETROWICZ, O. Zur technik der
phonoarthrographie. **Medsche Welt**, 25: 1984, 1974.

OPPENHEIM A.V. & SCHAFER R. W. **Digital Signal Processing**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.

PEYLAN, A. Direct auscultation of joints. **Rheumatism**, 9:77, 1953.

RICARTE R. N. **Estudo dos ruídos articulares através da técnica artrosonográfica dos joelhos normais de indivíduos jovens**. Tese de Mestrado. UNICAMP, 1987.

_____.; BERZIN, F.; VIELLIARD, J. M. E. **Rev. Ciênc. Tec. UNIMEP**, 5(2):10, 1996.

STEINDLER, A. Auscultation of joints. **J. Bone Jt. Surg.** ,19B: 121, 1937.

TAVATHIA, S. et al. Analysis of knee vibration signals using linear prediction. **IEEE Trans. Biomed. Eng.** 39(9):959. 1992.

WALTERS, C.F. The value of joint auscultation. **Lancet**, 1: 920, 1929.

De acordo com a NB66, de 1978, da Ass. Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT).

Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

ANEXOS

ANEXO I
FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

===== IDENTIFICAÇÃO =====

Nome: _____

Idade: _____ Sexo: _____ Peso: _____ Altura : _____

Estado Civil: _____ Profissão: _____

Endereço: _____ Fone: _____

===== TIPO DE JOELHO =====

() Assintomático

() Sintomático

Patologia: _____

===== IDENTIFICAÇÃO DA GRAVAÇÃO =====

Fita analógica: ref. _____

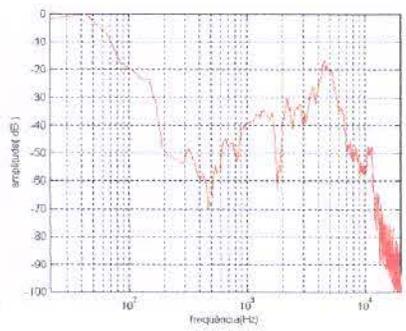
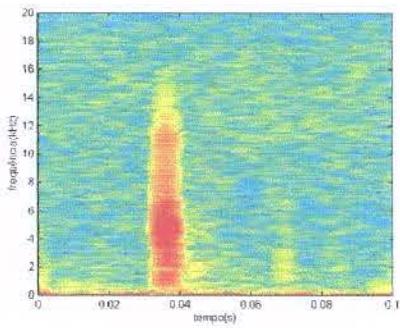
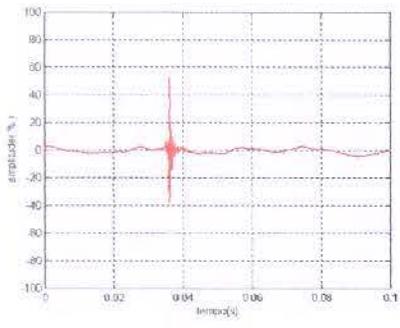
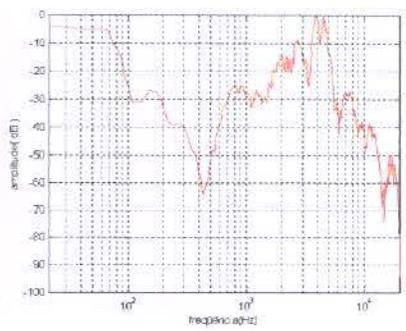
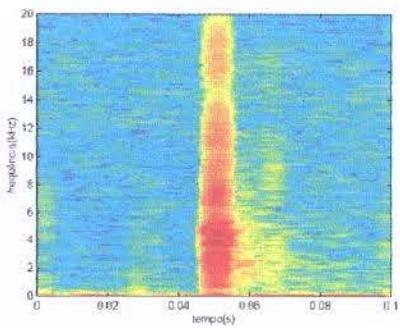
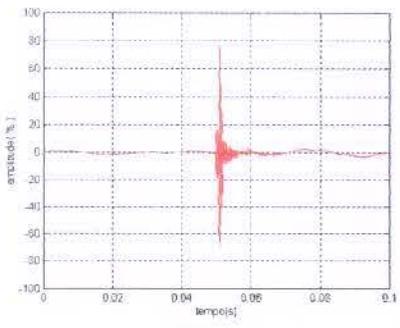
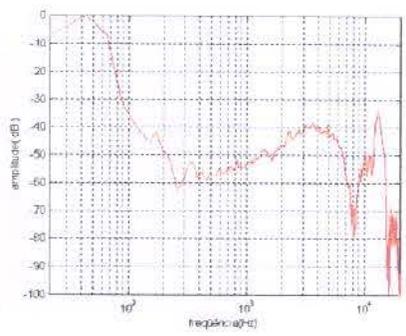
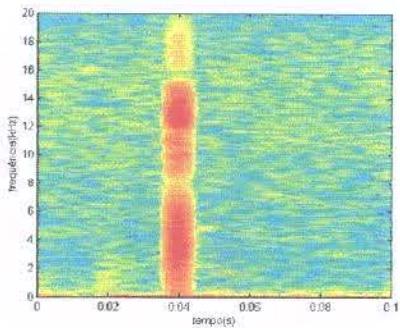
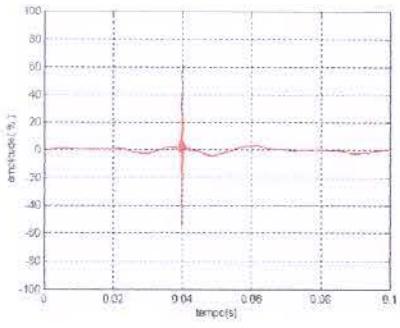
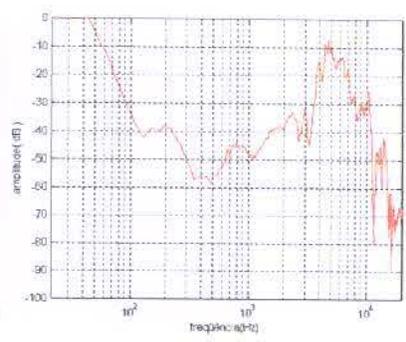
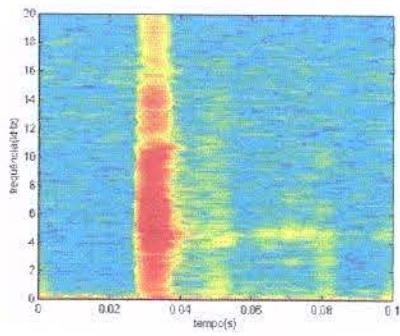
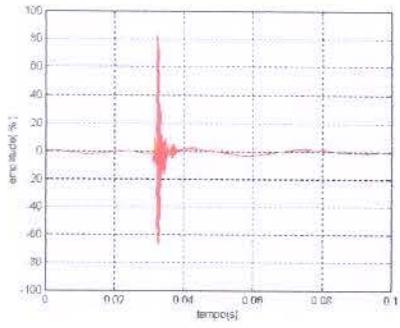
Fita Digital : ref. _____

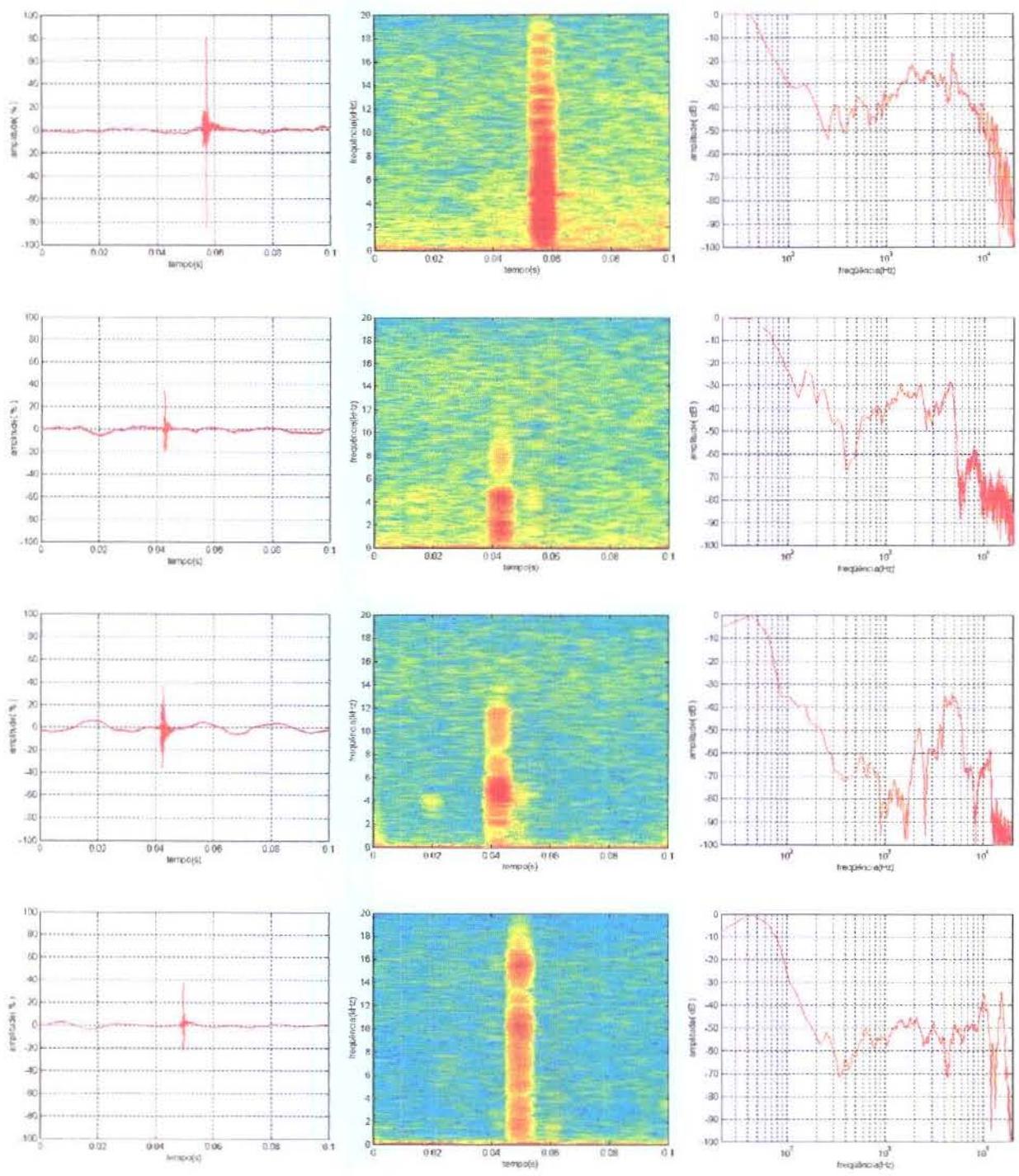
=====

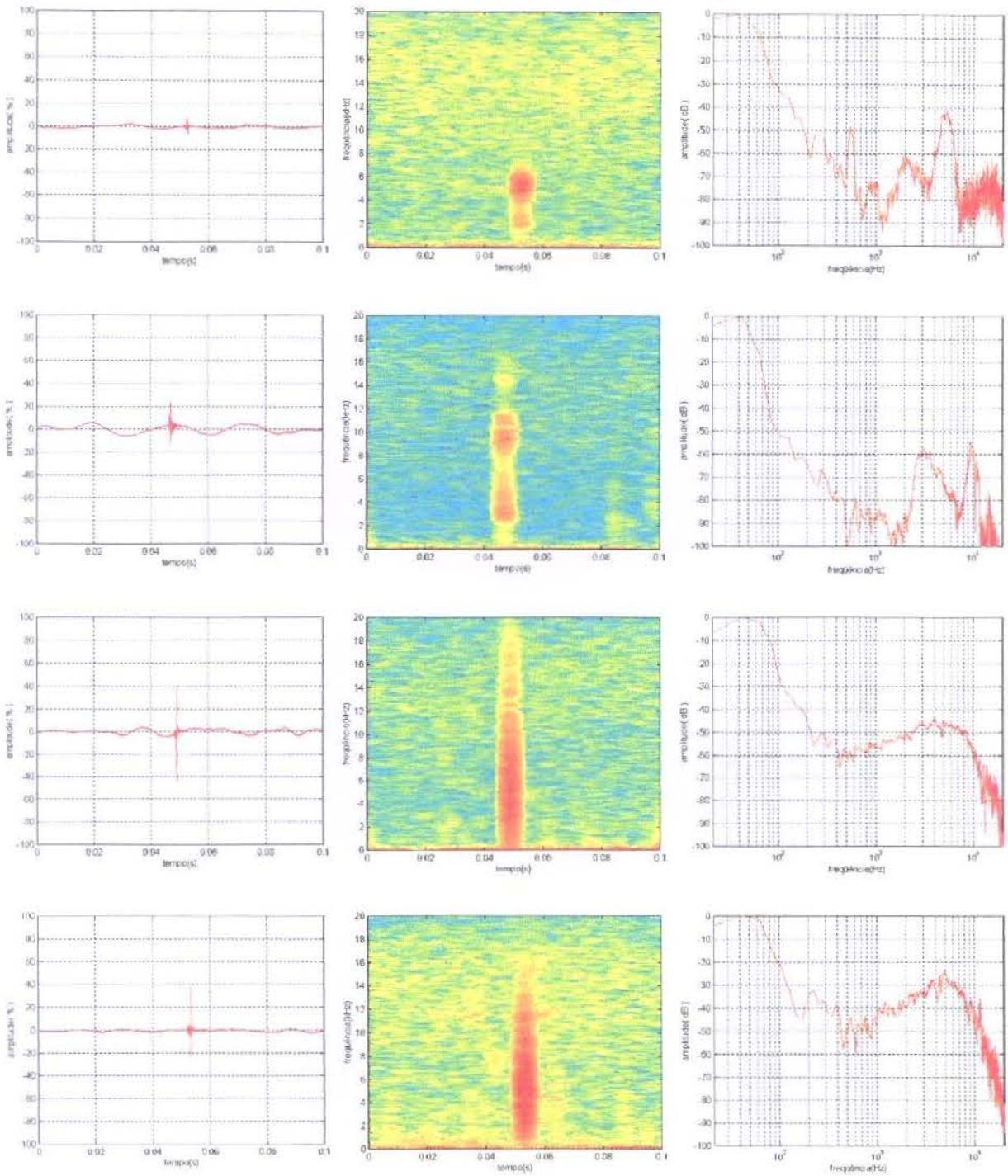
Campinas, _____ de _____ de _____

ANEXO II

FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PARA SINAIS TÍPICOS DE ESTALIDO

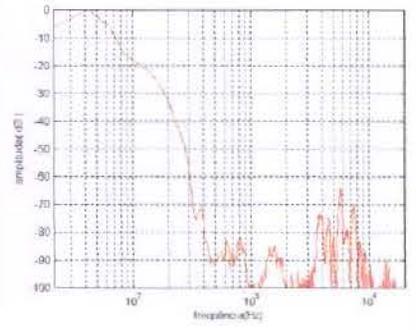
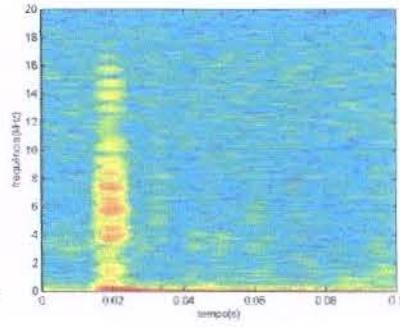
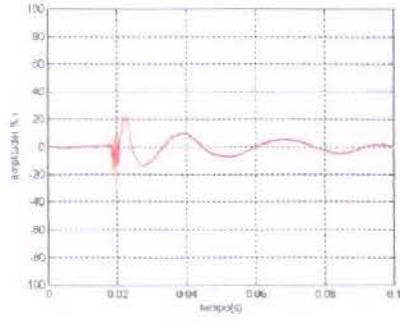
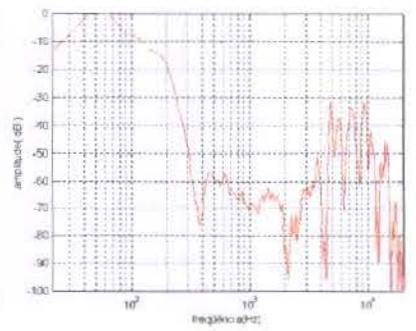
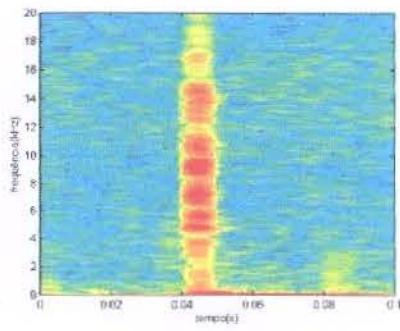
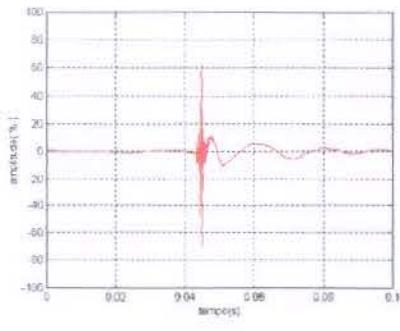
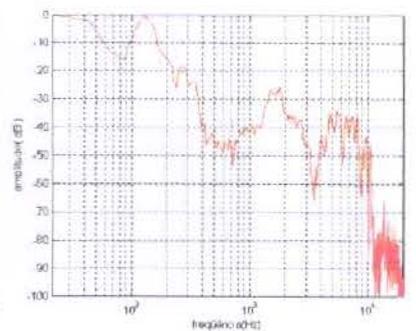
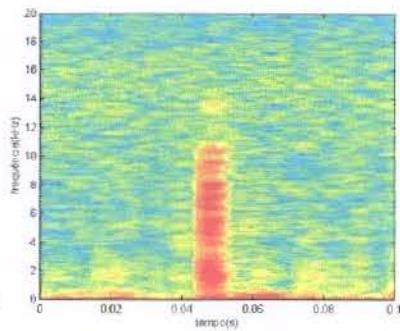
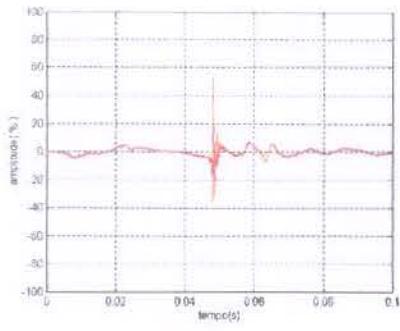
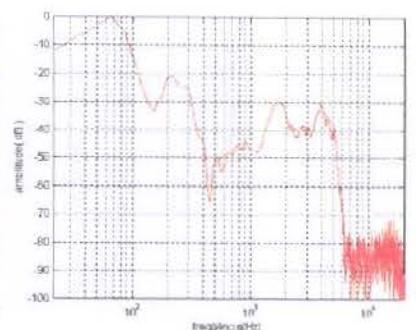
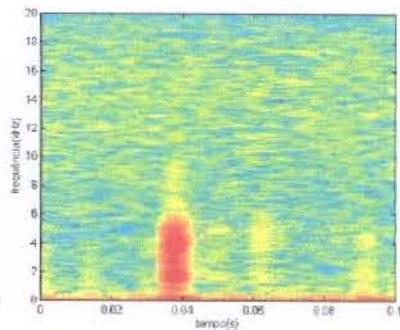
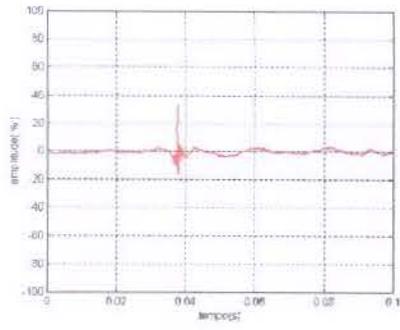


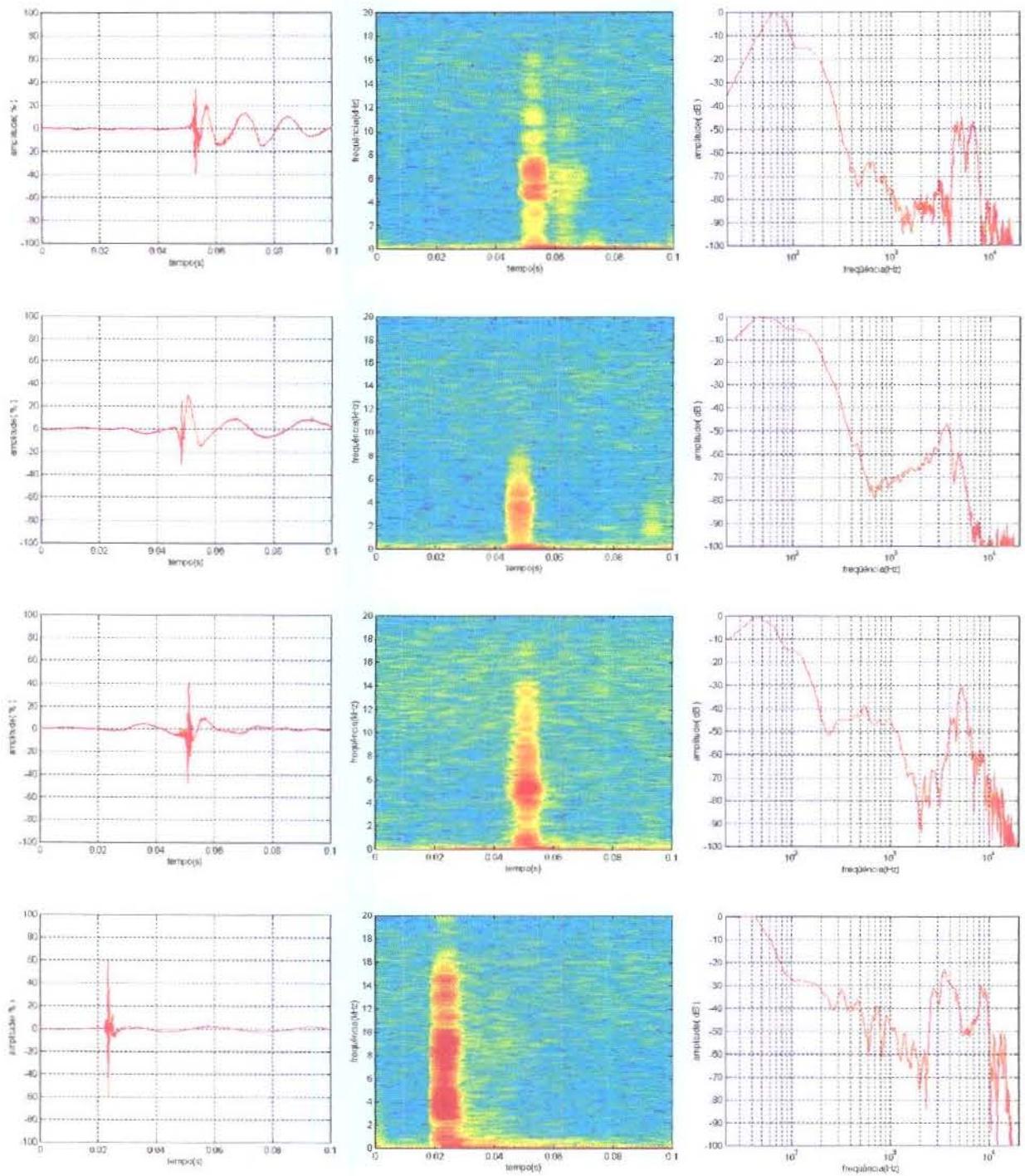


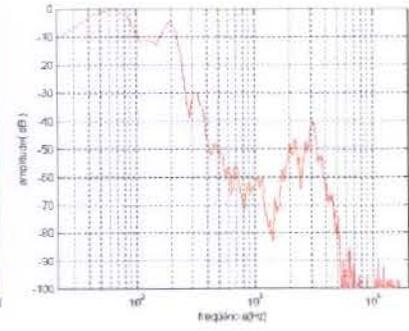
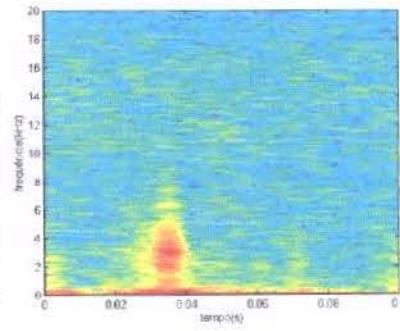
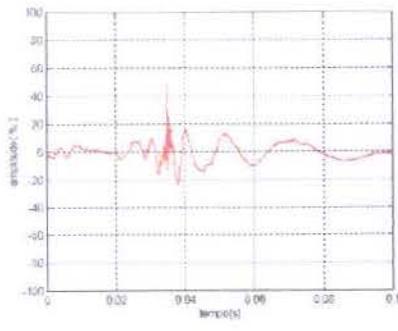
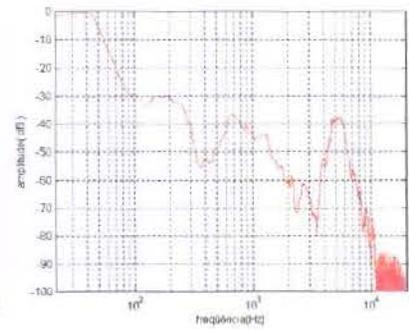
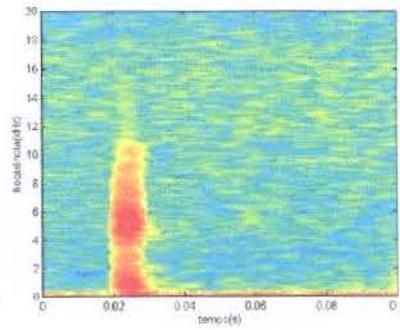
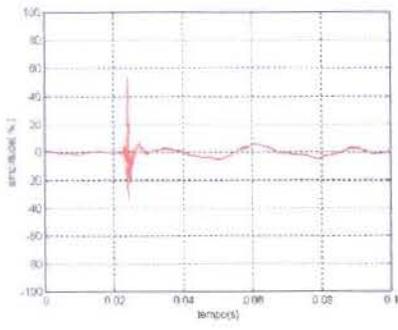


ANEXO III

FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PARA SINAIS TÍPICOS DE ESTALO

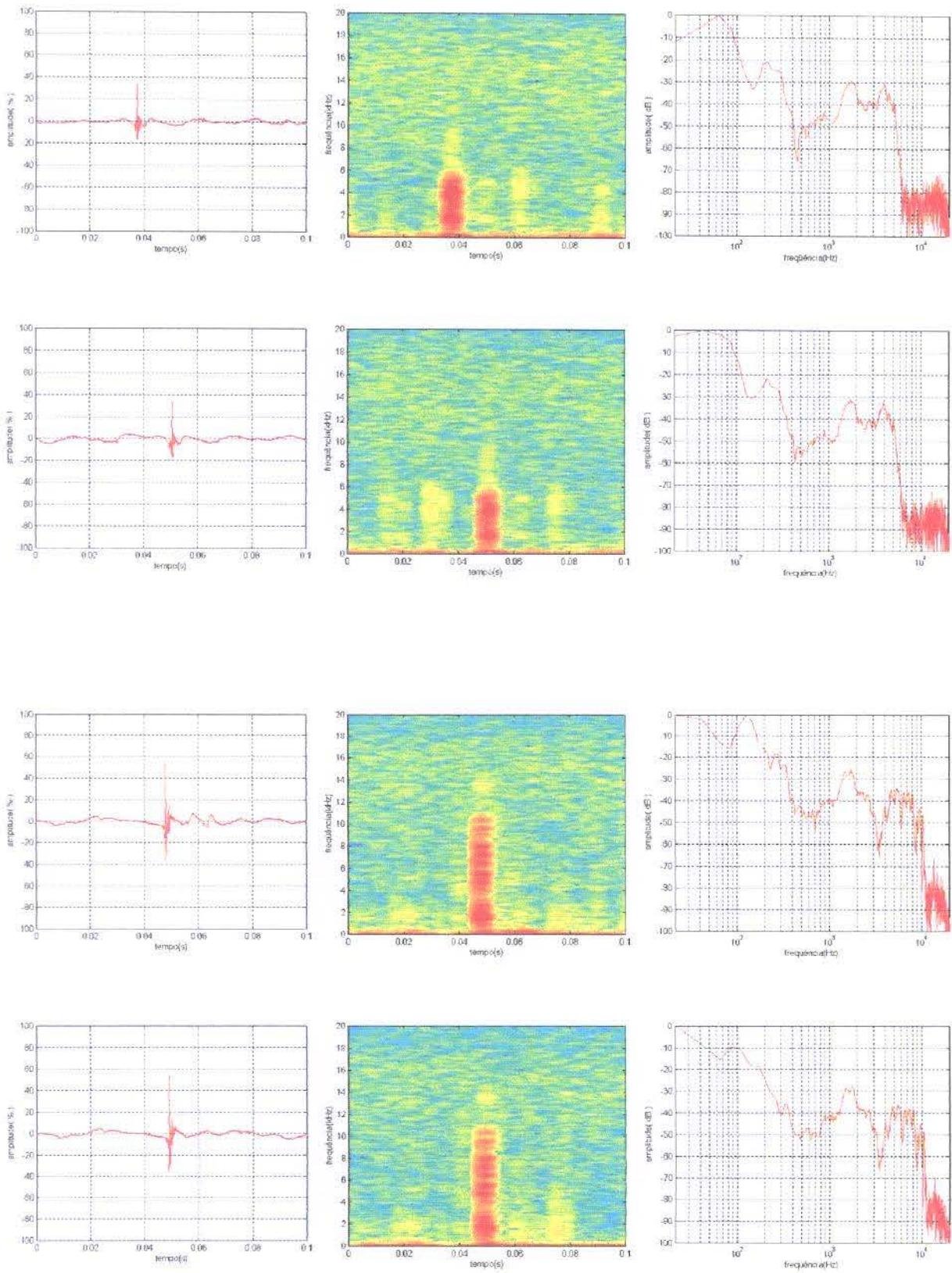






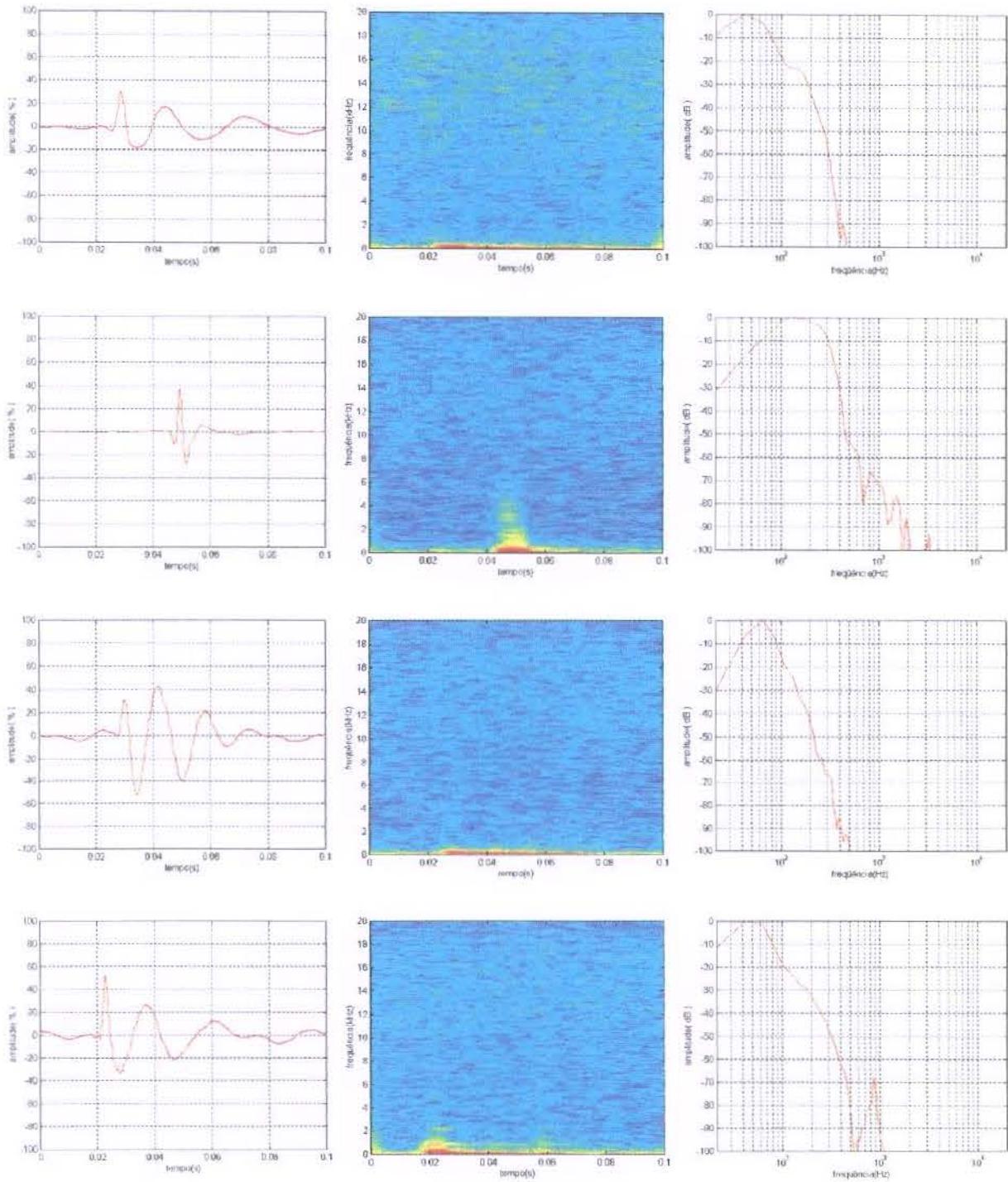
ANEXO IV

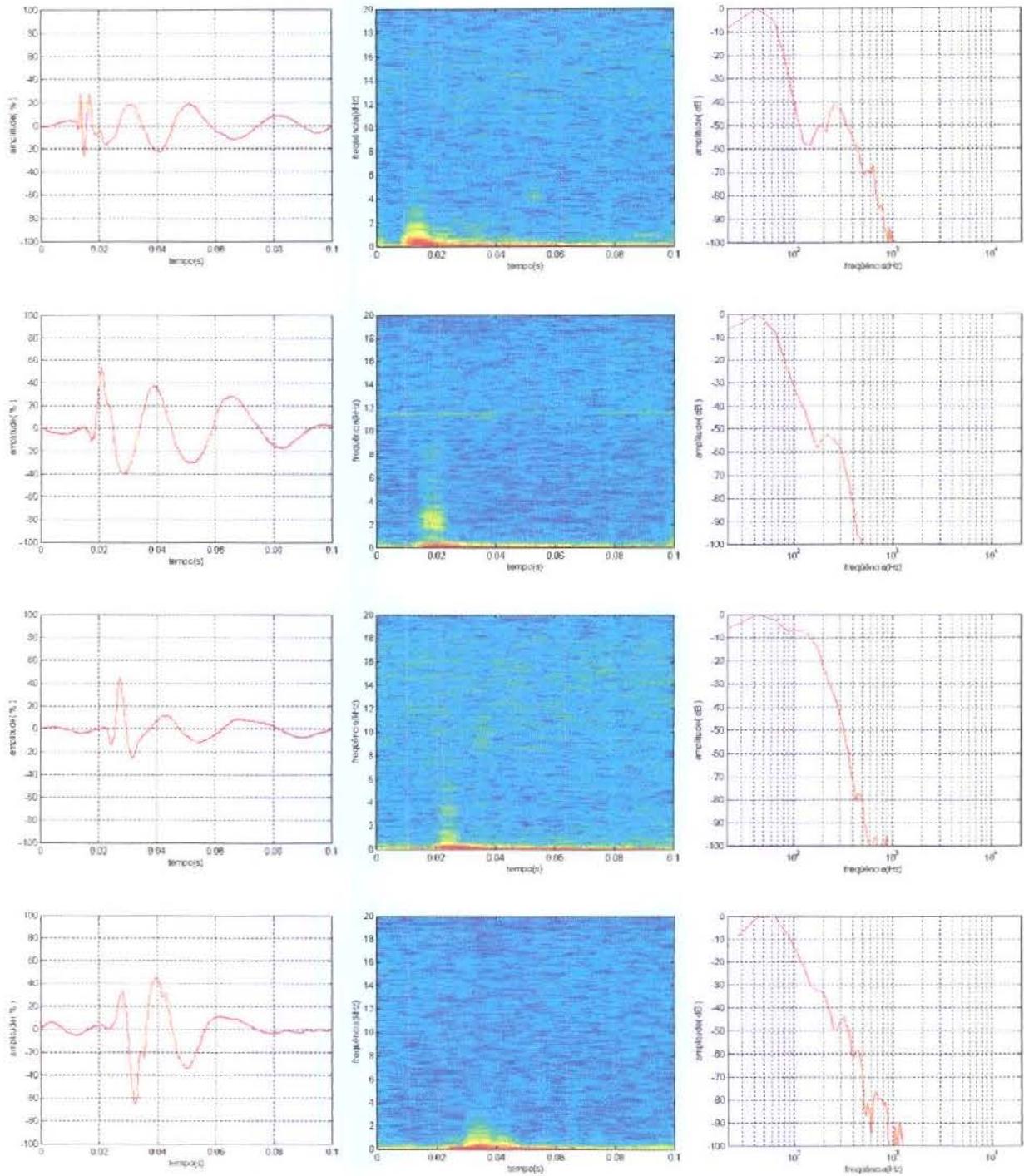
FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PARA SINAIS TÍPICOS DE ESTALO DUPLICADO

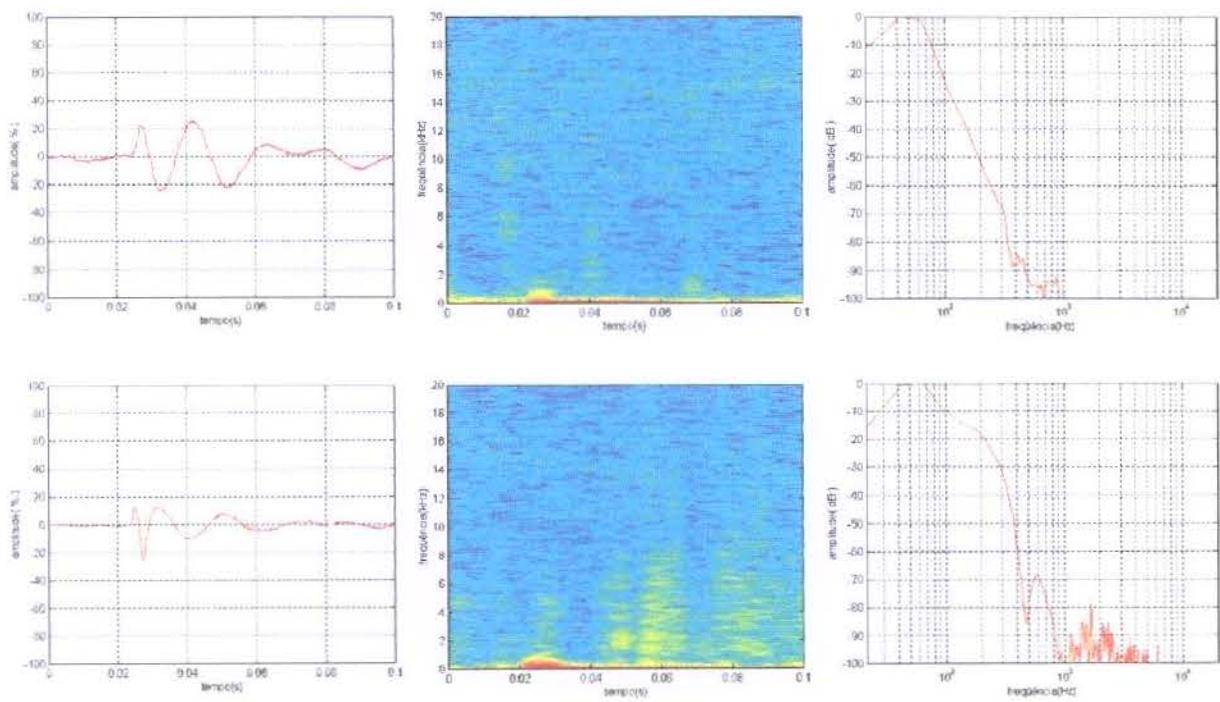


ANEXO V

FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PARA SINAIS TÍPICOS DE BAQUE

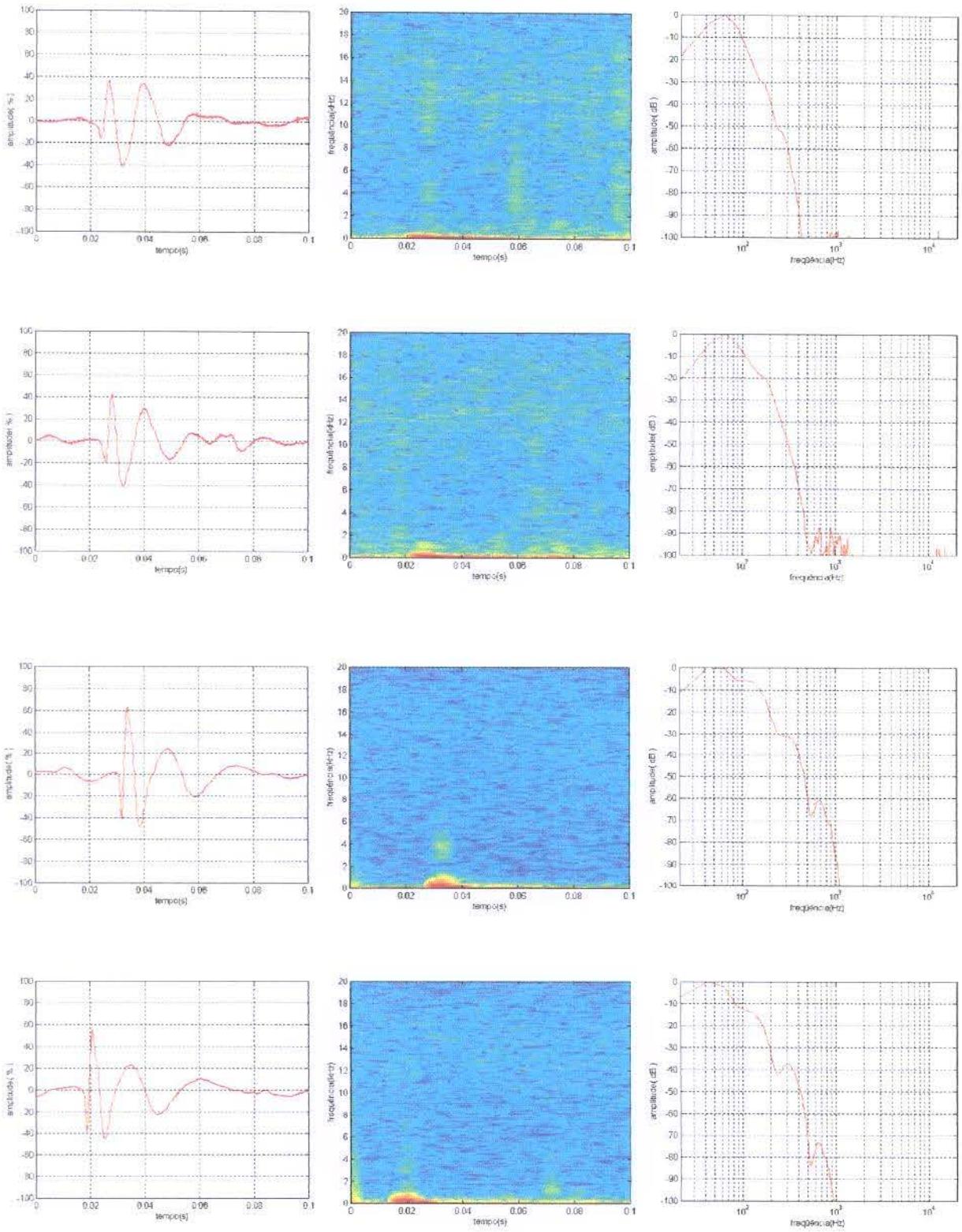






ANEXO VI

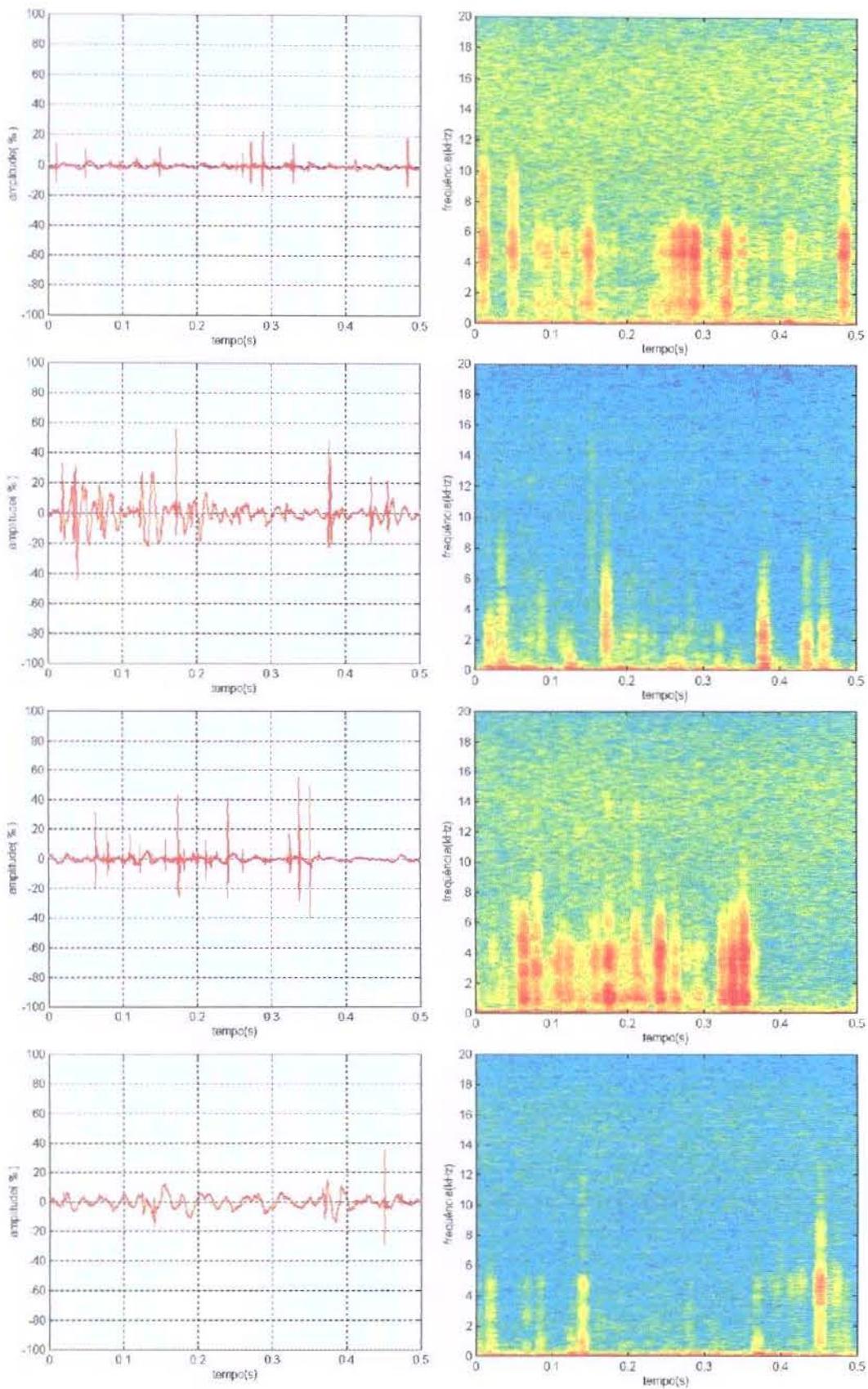
FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA E DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA PARA SINAIS TÍPICOS DE BAQUE DUPLICADO

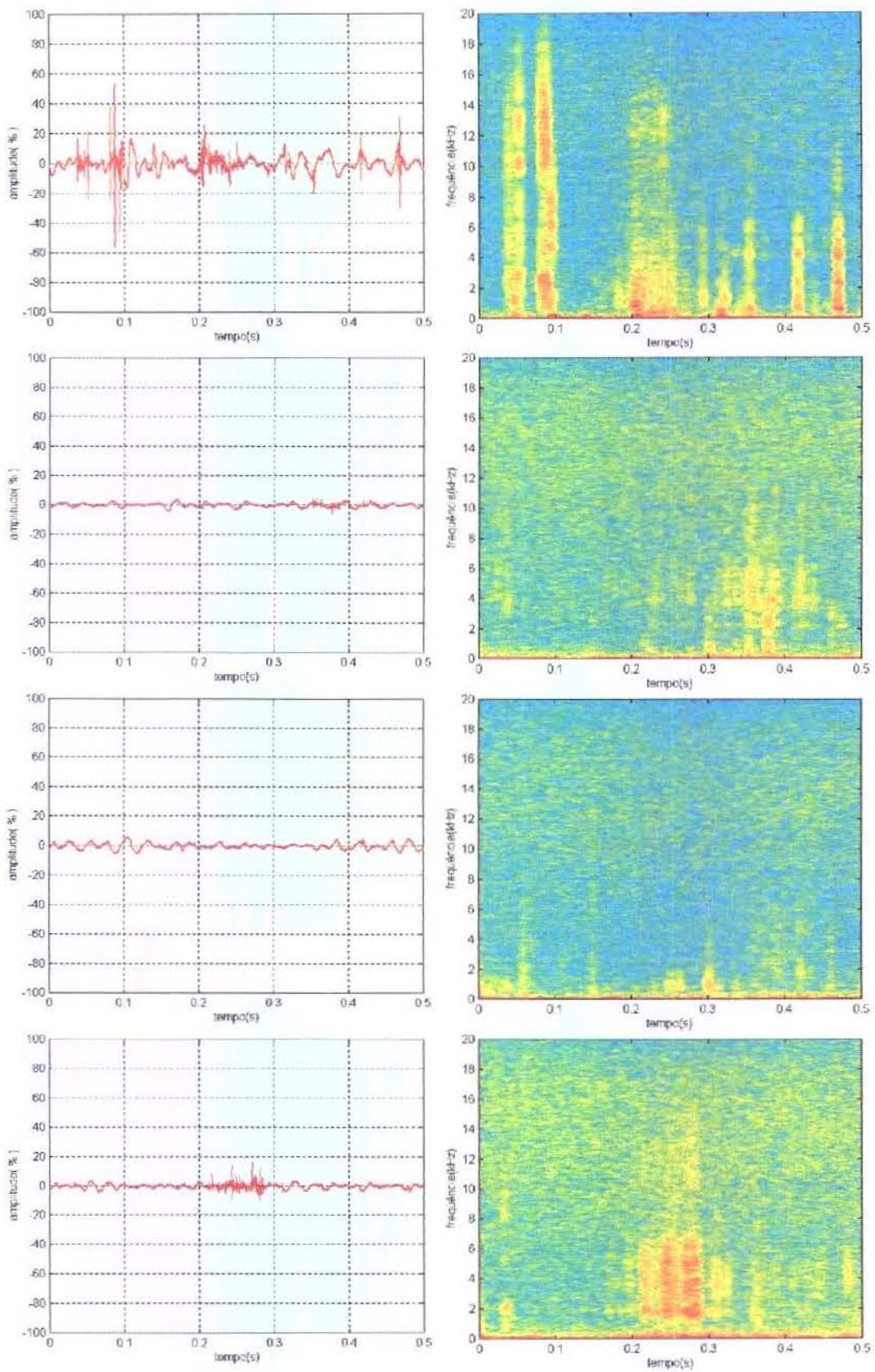


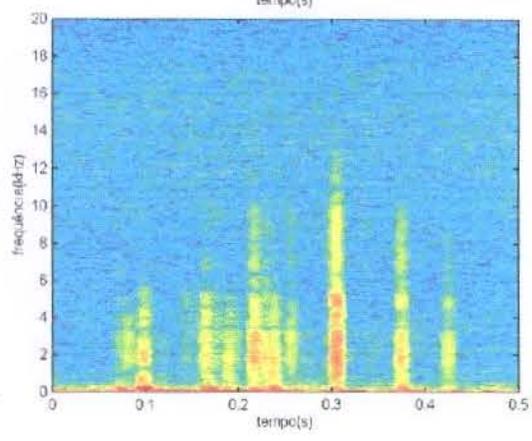
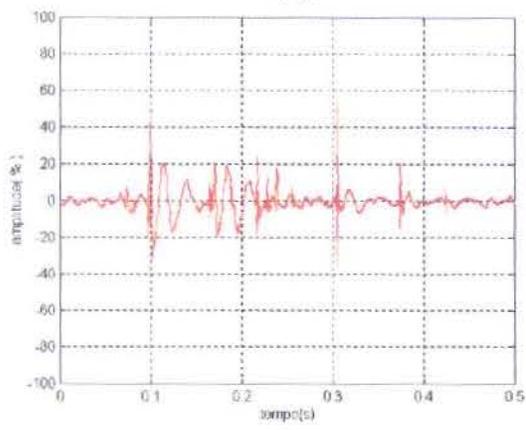
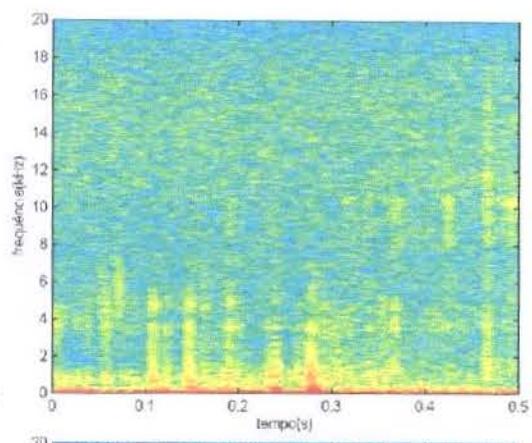
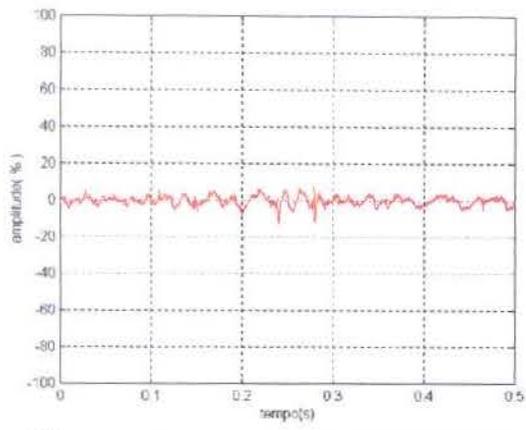
ANEXO VII

FORMA DE ONDA, ARTROSONOGRAMA PARA

SINAIS TÍPICOS DE CREPITAÇÃO







ANEXO VIII
ONDA AMORTECIDA

Por suas características dinâmicas, algumas ondas geradas pela atividade articular obedecem à lei física do fenômeno do amortecimento. Na interpretação deste fenômeno são levados em consideração, fatores como: **a amplitude da primeira onda gerada, a frequência de oscilação natural do sistema e o seu coeficiente de amortecimento.**

A figura 17a, ilustra o fenômeno do amortecimento através da produção de uma onda sintética de oscilação amortecida. Na mesma figura, acrescentou-se a equação que descreve o fenômeno do amortecimento, onde: A_0 , corresponde ao valor da amplitude de oscilação do pico da primeira onda gerada, aquela de maior intensidade; o valor C_0 , corresponde ao coeficiente de amortecimento do baque articular, indicando a velocidade de amortecimento das ondas; e o valor F_0 , corresponde à frequência de oscilação natural do baque, ou seja, à frequência na qual o sistema oscila.

O coeficiente C_0 , é obtido através da equação ilustrada ao lado do gráfico, sendo necessário identificar dois pares de pontos na onda gerada pela oscilação amortecida: os pontos (A_0) e (T_0) da oscilação da onda com o pico de maior amplitude, e os pontos $(A1)$ e $(T1)$, da oscilação da onda subsequente e em fase com ela.

O valor F_0 , referente à frequência de oscilação do sistema, é obtido, tomando-se o inverso do período que corresponde ao tempo transcorrido entre dois pontos de mesma fase.

Para se obter o coeficiente C_0 , relativo ao amortecimento da onda, toma-se o logaritmo neperiano da variação de amplitude entre os dois picos sucessivos de mesma fase, dividindo-o pelo período.

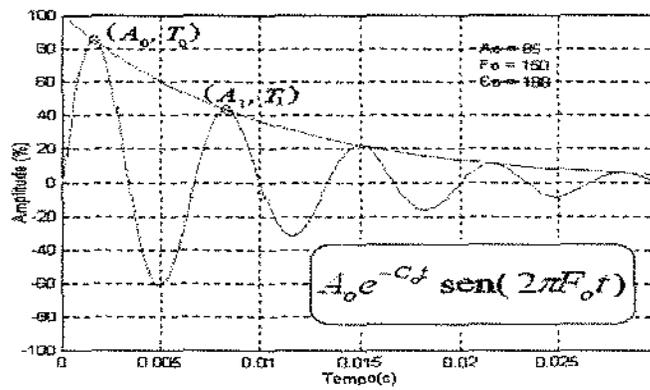


Figura 17a - Curva de onda sintética, mostrando uma oscilação amortecida.

Onde:

$$F_0 = \frac{1}{T_1 - T_0} \quad \text{(equação 2)}$$

e

$$C_0 = \frac{1}{T_1 - T_0} \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) \quad \text{(equação 3)}$$

A figura 17b, ilustra a **densidade espectral de potência** da onda amortecida, mostrando que sua frequência de oscilação natural é de 150 Hz.

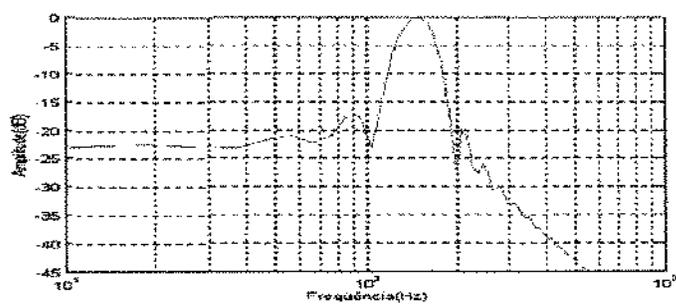


Figura 17b - Densidade espectral de potência da onda sintética amortecida.

ANEXO IX
ROTINAS PARA AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DOS SINAIS ARTICULARES

Análise de Sinais de Fenômenos Sonoros Articulares

Forma de Onda

Espectrograma

Densidade Espectral de Potência

Autor: A.M.L.Araújo / CEFET-PA

Sem restrições de cópia e uso

Versão: 1.4 Data: 23/10/1999 21:05:00

```
close all ; clear all
```

```
[y,fs,Format,Nome] = lersgn ;
```

```
y = y(:)';
```

```
y = 100*y/(2^15) ;
```

```
L = length(y) ;
```

```
k = 0:1:(L-1);
```

```
T = (0:1:(L-1))/fs ;
```

```
% Selecciona superposição
```

```
Cur = 0 ;
```

```
L = length(y);
```

```
if L < 10000
```

```
    Tj = 512 ; Super = fix(Tj*0.99) ; Cur = 1 ;
```

```
else
```

```
    Tj = 1024 ; Super = Tj/2 ;
```

```
end
```

```
y1 = [zeros(1,fix(Tj/2)) y(:)' zeros(1,fix(Tj/2))];
```

```

% Traçado da forma de onda
figure ; subplot(211) ; plot(T,y,'r'); grid on ; v = axis ; axis([0 max(T) -100 100]) ;
if Cur == 1
    axis([0 0.1 -100 100]);
else
    maxT = round(max(T)) ; axis([0 maxT -100 100]) ;
end
xlabel('tempo(s)'); ylabel('amplitude( % )');
set(gcf,'NumberTitle','off','Name',[num2str(h) ' Forma de Onda'],'Color',[1 1 1]);
% Traçado do espectrograma
figure ;
subplot(211); [B,F,T] = specgram(y1,Tj,fs,hanning(Tj),Super) ; B = 20*log10(abs(B)); B = B +
100 - max(max(B)) ; op = find(B<0) ; B(op) = 0 ; B(1,1) = 0 ;
if min(T) < 0
    T = T - min(T) ;
end
imagesc(T,F/1000,B); axis xy ; colormap(jet); colorbar ;
xlabel('tempo(s)'); ylabel('frequência(kHz)'); v = axis ;
if Cur == 1
    axis([0 0.1 0 20]);
else
    maxT = round(max(T)) ; axis([0 maxT 0 20]) ;
end
set(gcf, 'Name',[num2str(h) ' Nome ' Espectrograma'],'Color',[1 1 1]);
% Traçado da Densidade Espectral de Potência
figure ; subplot(111) ; y = y - mean(y) ; NN = 2048 ;
[P,F] = psd(y,4*Tj,fs,hanning(4*Tj),4*Super);
P = 20*log10(abs(P)); P = P - max(P) ;
semilogx(F,P,'r') ; xlabel('frequência(Hz)'); ylabel('amplitude( dB )'); grid on ;
v = axis ; axis([0 20000 -100 0]) ;
set(gcf, 'Name',[num2str(h) ' Nome ' Densidade Espectral'],'Color',[1 1 1]);

```

```
function [y,Fs,Format,Nome] = lersgn() ;
```

Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Elétrica

Departamento de Comunicações

Orientador : Fábio Violaro

Autores : Antônio Marcos de Lima Araújo & Edmilson Moraes

```
load conf
```

```
[wavefile,path]=uigetfile([wpath,'*.wav'],'Selecione Arquivo de Sinal',10,10);
```

```
if length(path) == length(wpath)
```

```
    if path == wpath
```

```
        ok = 1 ;
```

```
    else
```

```
        ok = 2 ;
```

```
    end
```

```
else
```

```
    ok = 2 ;
```

```
end
```

```
if ok == 2
```

```
    wpath = path ;
```

```
    save conf wpath
```

```
end
```

```
Nome = wavefile ; p = findstr(Nome, '.') ; Nome = Nome(1:p-1) ;
```

```
wavefile =[path,wavefile] ;
```

```
if isempty(findstr(wavefile, '.'))
```

```
    wavefile=[wavefile, '.wav'];
```

```
end
```

```
fid=fopen(wavefile,'rb','l');
```

```
if fid ~= -1
```

```
    header=fread(fid,4,'uchar'); header=fread(fid,1,'ulong'); header=fread(fid,4,'uchar');
```

```
    header=fread(fid,4,'uchar'); header=fread(fid,1,'ulong');
```

```
    Format(1)=fread(fid,1,'ushort'); % PCM format
```

```
    Format(2)=fread(fid,1,'ushort'); % n° de canais
```

```

Fs=fread(fid,1,'ulong') ; % amostras / s
Format(3)=Fs ;
Format(4)=fread(fid,1,'ulong') ; % bytes / s
Format(5)=fread(fid,1,'ushort'); % block alignment
Format(6)=fread(fid,1,'ushort'); % bits / amostra
nBits =Format(6);
% read data sub-chunck
header=fread(fid,4,'uchar') ;
nsamples=fread(fid,1,'ulong') ;
inicio = ftell(fid) ;
fseek(fid,0,'eof') ;
final = ftell(fid) ;
tam = final - inicio ;
nsamples=(final-inicio)*8/nBits ;
% y=fread(fid,nsamples,'uchar') ;
fclose(fid);
end
%-- Leitura do arquivo -----
In = fopen(wavefile,'rb') ;
fseek(In,46,'bof') ;
if nBits == 16
    nsamples=nsamples - 1 ;
    [y,nsamples] = fread(In,nsamples,'int 16');
else
    nsamples = nsamples - 2 ; [y,nsamples] = fread(In,nsamples,'uchar'); y = y-127 ;
end
Format(7) = nsamples ;
if Format(2) == 2
    y=y(1:2:nsamples); % sub-amostragem para sinal estereo
end
fclose(In);

```