

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA
ONDA-M E A DOR**

Alessandro Ribeiro de Pádua Machado

Junho
- 2011-

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA ONDA-M E A DOR

Alessandro Ribeiro de Pádua Machado

Texto da dissertação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências.

Prof. Dr. Adriano O. Andrade
Orientador

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira
Co-orientador

Prof. Dr. Alexandre Cardoso
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

**Junho
- 2011-**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DA ONDA-M E
A DOR

Alessandro Ribeiro de Pádua Machado

Texto da dissertação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia, perante a
banca de examinadores abaixo, como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade – Orientador (UFU)

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira – Co-orientador (UFU)

Prof. Dr. Gilmar da Cunha Sousa (UFU)

Prof Dr. Fabiano Politti (UNINOVE)

Junho
- 2011-

Grandes e admiráveis são tuas obras, ó Senhor!

Justos e verdadeiros são os teus planos!

Ap 15,3

A ciência sem a religião é paralítica,

a religião sem a ciência é cega.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e me dar força, coragem, saúde e estar sempre presente na minha vida.

Aos meus pais, por sempre estarem presentes, auxiliando e mostrando o caminho correto com muito carinho e amor.

Aos meus irmãos Everton e Reginnelly, pelo companheirismo e amor sem igual.

Aos meus sobrinhos Guilherme e Giovanna por me fazer a cada dia mais feliz.

A minha querida namorada Caroline, por sempre estar ao meu lado me apoiando e ensinando.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Andrade, pela oportunidade de participar deste projeto e pela ajuda e todas as conversas que me orientaram a realizar este trabalho.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Adriano Alves, por sempre auxiliar e proporcionar momentos de descontração.

A todos os amigos do Laboratório de Engenharia Biomédica que sempre estiveram ao meu lado, principalmente aos amigos Guilherme, Laise, Maria Fernanda, Nayara, Daniel e Iraides, pois sem estas pessoas o presente trabalho não seria o mesmo.

Aos grandes e inseparáveis amigos Atílio, Luciano, Maguila, Gustavo, Gabi, Alexandra, Diane, Lucas, Thiago Bessa, Silas, Everton, Black e Wiliam.

Aos amigos do laboratório de Anatomia Humana Lazinho, Fred e o Prof. Gilmar.

Às inseparáveis amigas da biomedicina Sabrina, Marcela, Patrícia, Isa, Cynthia e Ana Carolina.

A CAPES pelo apoio financeiro – Projeto PE030/2008.

RESUMO

A dor é uma sensação subjetiva e individual que causa muitos desconfortos para quem a sente. Dessa forma, é necessário um método que se quantifique a dor objetivamente. Pesquisas mostram que os potenciais evocados geram respostas que podem refletir os processos dolorosos. Neste contexto, este estudo utilizou características da onda-M como possíveis marcadores da sensação de dor. Dezesseis voluntários, oito do gênero masculino e oito do gênero feminino, participaram de cinco sessões com o mesmo protocolo em cada uma delas. Em cada sessão o voluntário recebeu estímulos elétricos no músculo abdutor do hálux. Inicialmente foi aplicada uma corrente de 1 mA com 20 pulsos, após isso o voluntário relatou o nível de dor na escala visual analógica (EVA) e quaisquer outras sensações percebidas. Após isto a corrente elétrica sofria um incremento de 1 mA com repetição dos procedimentos anteriores, sendo que foram gerados incrementos até que o voluntário relatasse dor máxima (nível 10 na EVA). Nos voluntários do gênero feminino foi registrado também o dia do ciclo menstrual em cada sessão do experimento. O posicionamento dos eletrodos foi padronizado para garantir que em todas as sessões eles fossem posicionados no mesmo local. Durante a análise dos dados foram avaliados os picos mínimo e máximo das ondas-M e observou-se que o mínimo global da onda-M é correlacionado com o aumento da corrente elétrica, consequentemente com o aumento da dor sentida pelo sujeito. Os resultados mostraram que nos sujeitos do gênero masculino o limiar e a tolerância à dor foram maiores que nos voluntários do gênero feminino, e também que as diferentes fases do ciclo menstrual não interferiram nas avaliações.

Palavras-chave: Dor, eletroestimulação, onda-M, potenciais evocados.

ABSTRACT

Pain is a subjective and individual feeling that causes many inconveniences to those who feel. Thus, we need a method to quantify pain objectively. Studies show that evoked potentials can generate responses that reflect the painful processes. In this context, this study used M-wave characteristics as potential markers of pain sensation. Sixteen volunteers, eight males and eight females, participated in five sessions with the same protocol in each. In each session the volunteers received electrical stimulation in the abductor hallucis muscle. Initially it was applied a current of 1 mA at 20 pulses, after which the volunteers reported pain levels on visual analogue scale (VAS) and any other sensations. After that the electrical current had an increment of 1 mA with repetition of the previous procedures, and were generated increments until the maximum voluntary reported pain level (VAS 10). In the female volunteers were also enrolled the day of the menstrual cycle in each session of the experiment. The electrode placement was standardized to ensure that in every session they were placed in the same place. During the data analysis were assessed several characteristics of the M-waves and observed that the global minimum of M-wave is correlated with increased electrical current, thereby to increase the pain felt by the subject. The results showed that in male subjects the threshold and pain tolerance were higher than in female volunteers, and also that the different phases of the menstrual cycle did not affect the ratings.

Key words: Pain, electrical stimulation, M-wave, evoked potentials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de onda-M com marcações relativas ao pico superior e inferior....	19
Figura 2 - Detecção do ponto motor do músculo abdutor do hálux (margem medial)...	24
Figura 3 - Posicionamento dos eletrodos na margem medial do pé.....	25
Figura 4 - Escala visual analógica	25
Figura 5 - Equipamento Nihon Kohden utilizado para a coleta de dados.	26
Figura 6 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 1).	33
Figura 7 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 2).....	33
Figura 8 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 3).....	34
Figura 9 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 4).....	34
Figura 10 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 5).....	35
Figura 11 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 6).....	35
Figura 12 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 7).....	36
Figura 13 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 8).....	36
Figura 14 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 9).....	37
Figura 15 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 10).....	37
Figura 16 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 11).....	38
Figura 17 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 12).....	38
Figura 18 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 13).....	39
Figura 19 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 14).....	39
Figura 20 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 15).....	40
Figura 21 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente (sujeito 16).....	40
Figura 22 - Resultados obtidos a partir do sujeito 2 sem a marcação da pele.	41
Figura 23 - Resultados obtidos a partir do sujeito 6 sem a marcação da pele	42
Figura 24 - Representação gráfica da onda-M durante a ausência de dor.	42
Figura 25 - Representação gráfica da onda-M durante o máximo limite de dor	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representação dos valores do limiar de dor e a média com o desvio padrão dos sujeitos do gênero masculino em cada um dos testes.	29
Tabela 2 - Representação dos valores do limiar de dor e a média com o desvio padrão dos sujeitos do gênero feminino em cada um dos testes.	29
Tabela 3 - Representação do valor de tolerância à dor relatado por cada um dos sujeitos do gênero masculino.	30
Tabela 4 - Representação do valor de tolerância à dor relatado por cada um dos sujeitos do gênero feminino.	31
Tabela 5 - Dia do ciclo menstrual em que as voluntárias realizaram os testes.	31

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.1 Objetivos geral e específicos.....	3
1.2 Trabalhos submetidos.....	3
1.3 Organização da dissertação.....	4
REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	5
2.1 Dor.....	5
2.2 Indução de dor.....	11
2.3 Mensuração da dor.....	13
2.4 Considerações finais.....	21
MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Voluntários: critérios de inclusão e exclusão.....	22
3.2 Protocolo de coleta de dados.....	23
3.3 Considerações finais.....	27
RESULTADOS.....	28
4.1 Limiar de dor.....	28
4.2 Tolerância à dor.....	30
4.3 Ciclo menstrual.....	31
4.4 Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente elétrica.....	32
4.5 Importância da marcação do posicionamento dos eletrodos	39
4.6 Ondas-M.....	42
4.7 Considerações finais.....	43
DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	44
5.1 Limiar de dor	45
5.2 Tolerância à dor.....	46
5.3 Ciclo menstrual.....	46
5.4 Relação entre ondas-M e corrente elétrica.....	47
5.5 Marcação da pele	48
5.6 Ondas-M	48
5.7 Conclusões	49
5.8 Trabalhos futuros	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

ANEXO I.....	56
ANEXO III.....	57
ANEXO III.....	58

Introdução e Justificativa

A dor, de acordo com a IASP (*International Association for the Study of Pain*), pode ser definida como uma experiência sensitiva e emocional associada a um dano tecidual real ou potencial (Barr, Nielsen *et al.*, 1986; Lee, 2001; Myers, Robinson *et al.*, 2001; Solomon, Shebshacvich *et al.*, 2003; Al'absi, Wittmers *et al.*, 2004; Ervilha, Nielsen *et al.*, 2004; Ahlers, Gulik *et al.*, 2008; Hurley e Adams, 2008; Bottega e Fontana, 2010). Portanto esta sensação é subjetiva e individual para cada pessoa. A dor é atualmente mensurada usando-se técnicas de escalas subjetivas, sendo que uma grande limitação destas mensurações está no potencial de susceptibilidade à contaminação por múltiplos fatores externos à imediata sensação dolorosa. Estes fatores, incluindo a ansiedade, expectativas, experiências passadas, entre outros, podem contribuir para erros e confundir as variações subjetivas da dor (Chan e Dallaire, 1989).

Muitas, senão todas as enfermidades do corpo causam dor. Ela é um mecanismo de proteção. A dor ocorre a qualquer momento quando quaisquer tecidos são danificados (Guyton e Hall, 2002). De um modo geral, a dor aguda ou crônica leva a sintomas como alterações nos padrões de sono, apetite e libido, irritabilidade, alterações de energia, diminuição da capacidade de concentração, além de dificuldades em atividades familiares, profissionais e sociais (Kreling, Cruz *et al.*, 2006).

Devido ao fato de a dor causar tantos transtornos e de não poder ser objetivamente mensurada (Sousa, 2002), é necessário que se busque uma alternativa para quantificá-la de forma objetiva, para que os profissionais competentes possam utilizar o tratamento mais adequado de acordo com a real intensidade de dor que o paciente estiver sentindo, ou seja, detectar a dor por um mecanismo que não sofra influência de fatores emocionais. A avaliação da intensidade da dor normalmente é

realizada com o auxílio da Escala Visual Analógica (EVA) (Averbuch e Katzper, 2000), porém, esta também é subjetiva.

Vários trabalhos relatam a importância dos profissionais da área da saúde identificarem os níveis de dor dos pacientes, e também estes trabalhos citam métodos subjetivos e nem sempre eficazes para tais mensurações (Ahlers, Gulik *et al.*, 2008; Bottega e Fontana, 2010; Lee, 2001). Entretanto a maioria desses métodos necessita de que o paciente emita alguma resposta voluntária e alguns destes estão em estados que os impossibilitam de reagirem ou mesmo de compreenderem o que deve ser feito.

Estudos epidemiológicos, nacionais e internacionais, demonstram que aproximadamente 80% da procura das pessoas pelos serviços de saúde são motivadas pela dor. A dor crônica acomete 30 a 40% dos brasileiros e constitui a principal causa de absenteísmo, licenças médicas, aposentadorias por doença, indenizações trabalhistas e baixa produtividade no trabalho (Negri, 2002).

Sendo assim, temos que uma avaliação objetiva da dor pode ser importante em diversas áreas e, dentre outros benefícios, pode ser uma ferramenta capaz de avaliar a eficácia de drogas e terapias, acompanhar a evolução de doenças neuromusculares, avaliar os mecanismos de adaptação do sistema nervoso central em relação aos processos dolorosos, avaliar dor em recém-nascidos e causar um aprimoramento, principalmente em segurança, no desenvolvimento de robôs que interagem com seres humanos, para que possamos ter segurança ao trabalhar com máquinas que interagem automaticamente conosco, por exemplo.

No estudo da dor, uma das ferramentas que pode ser utilizada é a eletromiografia (EMG). EMG é o termo genérico que expressa o método de registro da atividade elétrica de um músculo quando ele realiza contração. Ela apresenta inúmeras aplicações, notadamente na clínica médica para diagnóstico de doenças neuromusculares; na reabilitação, para reeducação da ação muscular (*biofeedback* eletromiográfico); para a anatomia, com o intuito de revelar a ação muscular em determinados movimentos; e para a biomecânica, como um indicador de estresse, de padrões de movimentos e parâmetros de controle de sistema nervoso (Amadio, 1996).

As ondas-M são os potenciais de ação musculares evocados pela estimulação de um nervo motor (Weiss, Silver *et al.*, 2004). Tais ondas podem ser evocadas por estimulação elétrica do sistema nervoso central, dos nervos periféricos com eletrodos neurais ou de superfície, dos ramos axonais terminais com eletrodos de fio implantados no músculo, com eletrodos subcutâneos colocados na superfície do músculo, com

eletrodos de superfície posicionados na pele acima do ponto motor ou por estimulação direta das fibras musculares (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

A estimulação elétrica é vastamente utilizada em terapias físicas (Avila e Brasileiro, 2008) e muito bem documentada (Liebano e Alves, 2009). Minetto *et al.* (Minetto, Botter *et al.*, 2008) citam que diversos estudos relacionam variações de dor com a eletroestimulação. Liebano e Alves (Liebano e Alves, 2009) realizaram um estudo com o objetivo de verificar o nível de desconforto sensorial causado por correntes de baixa e média frequência na estimulação elétrica neuromuscular dos músculos que constituem o quadríceps femoral em mulheres saudáveis. Portanto tal estudo deixa clara a existência da geração de desconforto (dor) durante sessões de eletroestimulação.

Assim como no estudo de Minetto *et al.* (Minetto, Botter *et al.*, 2008) o presente estudo pretende utilizar a estimulação elétrica como meio de estimulação dolorosa e verificar alterações nas ondas-M, analisando também as sensações de dor relatadas pelos voluntários.

1.1 Objetivos geral e específicos

O objetivo central do estudo é testar a hipótese de que as ondas-M são potenciais marcadores dos níveis dolorosos.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Correlacionar o pico mínimo da onda-M com a corrente elétrica aplicada no sujeito, pois apenas este parâmetro mostrou relação com o aumento da corrente elétrica;
- Determinar o limiar de dor de cada sujeito;
- Determinar a corrente máxima suportada por cada um dos sujeitos;
- Correlacionar parâmetros estimados a partir da onda-M com a EVA;
- Verificar diferenças entre homens e mulheres com relação à percepção da dor;
- Verificar se existe alguma diferença na percepção da dor em mulheres nas diferentes fases do ciclo menstrual.

1.2 Publicação

Machado A.R.P., Oliveira I.M., Resende L.O., Pereira A.A., Andrade A.O. Avaliação da dor através da análise das ondas-M. Trabalho apresentado no V Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas, em Porto Alegre. 15 de Abril de 2011.

1.3 Organização da dissertação

No Capítulo 2 é realizada a revisão da literatura, citando inicialmente as teorias acerca da dor com suas características e consequências, e os métodos mais comumente descritos sobre a indução da dor. Logo após tais descrições são apresentados os métodos de mensuração da dor. Também é falado sobre as escalas de dor e sobre alguns trabalhos que citam a onda-M, que é o potencial evocado tido como centro de estudo deste trabalho.

O Capítulo 3 descreve os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa com todos os detalhes dos voluntários e protocolo utilizado

Os resultados do trabalho estão detalhadamente descritos no Capítulo 4, onde tabelas e gráficos expõem os dados obtidos após as análises.

Por fim o Capítulo 5 discute todos os resultados, mostrando suas contribuições e apresentando sugestões para que futuros trabalhos possam dar continuação a esta pesquisa.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

Para a realização do presente estudo é indispensável apresentar ao leitor uma teoria sobre os parâmetros analisados, como a dor, ondas-M, EMG, eletroestimulação, entre outros. Esta revisão serve como base para o entendimento da pesquisa e também é um *link* entre os assuntos indispensáveis para o entendimento deste estudo. O objetivo deste capítulo é introduzir ao leitor o que é a dor e suas consequências, mostrar o andamento dos trabalhos que têm como objetivo a quantificação de tal problema, mostrar os meios de indução dolorosa utilizados atualmente e expor conceitos de EMG e como as ondas-M podem ser úteis como um sinalizador (quantificador) da condição dolorosa. Expondo seus parâmetros fisiológicos e realizando comparações entre diversas pesquisas.

2.1 Dor

A dor é mais que uma percepção desagradável associada com uma sensação somatossensória. É um importante sinal que provém identificação, localização e reação para uma potencial ameaça física (Legrain, 2011).

A sensação dolorosa pode ser experimentada na ausência de provas físicas e causar grandes prejuízos, pois ela é uma experiência única para quem a sente e pode ser comunicada por meio de descrições linguísticas, como os relatos verbais de dor e também pode ser observada a partir do comportamento do sujeito (Gracely, 1999). Desta forma temos que é seguro analisar-se os relatos de dor de cada sujeito desta pesquisa pela EVA, pois apenas os próprios voluntários são capazes de expressar a intensidade da sensação dolorosa que está sendo induzida.

A dor desencadeia reflexos de retirada do corpo ou de parte dele para longe de estímulos nocivos. Ela nos induz a manter em repouso uma parte lesionada de nosso corpo. A dor é vital. Os argumentos mais convincentes, nesse sentido, são algumas raras pessoas que nascem sem a capacidade de sentir dor. Elas passam a vida inteira em constante perigo de autodestruição, uma vez que não se dão conta dos danos em consequência de suas ações. Muitas morrem precocemente (Bear, Connors *et al.*, 2002).

Classifica-se a dor em dois tipos principais: dor rápida e dor lenta. A dor rápida é sentida dentro de 0,1 segundo após a aplicação de um estímulo doloroso, enquanto a dor lenta começa somente após um segundo ou mais, aumentando lentamente durante vários segundos e algumas vezes durante minutos.

A dor rápida também é descrita por meio de vários nomes alternativos, como dor pontual, dor em agulhada, dor aguda e dor elétrica. Esse tipo de dor é sentido quando uma agulha é introduzida na pele, quando a pele é cortada por uma faca, ou quando a pele é agudamente queimada, por exemplo. Ela também é sentida quando a pele é submetida a um choque elétrico, assim como no presente estudo. A dor pontual-rápida não é sentida nos tecidos mais profundos do corpo (Guyton e Hall, 2002). De acordo com Guyton, vários tipos de estímulos podem desencadear a dor: estímulos mecânicos, térmicos e químicos. Em geral a dor rápida é desencadeada por estímulos mecânicos e térmicos, enquanto a dor lenta pode ser desencadeada pelos três tipos de estímulo.

Os receptores de dor, ou nociceptores, são terminações nervosas livres, ramificadas e não-mielinizadas que sinalizam que o tecido está sendo lesionado ou está em risco de sofrer lesão (a palavra *nociceptor* vem do latim *nocere*, “ferir”). Os nociceptores são ativados por estímulos que têm o potencial de causar lesão no tecido. A transdução do estímulo doloroso ocorre nas terminações nervosas das fibras C não-mielinizadas e nas fibras A δ levemente mielinizadas. Os nociceptores estão presentes na maioria dos tecidos corporais, incluindo pele, osso, músculo, maior parte dos órgãos internos, vasos sanguíneos e coração. Notavelmente são ausentes no encéfalo, porém não nas meninges. As fibras A δ e C levam informações ao sistema nervoso central em diferentes velocidades, isso devido às diferenças na velocidade de condução de seus potenciais de ação, daí o fato de termos a dor rápida (A δ) e a dor lenta (C) (Bear, Connors *et al.*, 2002).

Melzack e Wall (Melzack e Wall, 1965) propuseram uma teoria de que os fenômenos da dor são determinados por interações entre três sistemas da medula espinal: as células da substância gelatinosa na coluna posterior da medula, as fibras da

coluna dorsal que se projetam em direção ao cérebro, e as células de primeira transmissão central no corno dorsal. Os autores citaram que as funções da substância gelatinosa, como um sistema de portão de controle, que modula os padrões aferentes antes da influência das células T, como o primeiro sistema. Como segundo sistema foi citado que os padrões aferentes do sistema da coluna dorsal atuam, pelo menos em parte, como um gatilho de controle central, o qual ativa processos seletivos do cérebro que influenciam nas propriedades de modulação do sistema de portão da dor. E as células T ativam os mecanismos do sistema neural que abrangem o sistema de ação responsável por resposta e percepção como um terceiro sistema.

Nos últimos anos as vias de dor têm sido muito estudadas e algumas idéias mudaram consideravelmente. Assim, sabemos que hoje existem duas vias principais, através das quais os impulsos de dor chegam ao sistema nervoso supra-segmentar: uma via filogeneticamente mais recente, neoespino-talâmica, constituída pelo tracto espino-talâmico lateral, e outra, mais antiga, paleoespino-talâmica, constituída pelo tracto espino-reticular, e as fibras reticulo-talâmicas. A via neoespino-talâmica é uma via clássica de dor que é constituída basicamente pelo tracto espino-talâmico lateral envolvendo uma cadeia de três neurônios: neurônios I (localizam-se nos gânglios espinhais situados nas raízes dorsais), neurônios II (estão localizados na coluna posterior) e neurônios III (localizam-se no tálamo, principalmente no núcleo ventral póstero-lateral). Através dessa via chegam ao córtex cerebral impulsos originados em receptores dolorosos (e térmicos) situados no tronco e nos membros do lado oposto do corpo. A via é somatotrópica, ou seja, a representação das diferentes partes do corpo pode ser identificada em seus núcleos e tractos assim como na área de projeção cortical. Há evidência de que a via neoespino-talâmica é responsável apenas pela sensação de dor aguda e bem localizada na superfície do corpo, correspondendo à chamada dor em pontada. A via paleoespino-talâmica é constituída de uma cadeia de neurônios em número maior que os da via neoespino-talâmica: neurônios I (localizam-se nos gânglios espinhais), neurônios II (situam-se na coluna posterior) e neurônios III (localizam-se na formação reticular e dão origem às fibras reticulo-talâmicas que terminam nos núcleos intralaminares do tálamo (Machado, 2000).

Ao contrário da via neoespino-talâmica, a via paleoespino-talâmica não tem organização somatotrópica. Assim ela é responsável por um tipo de dor pouco localizada, dor profunda do tipo crônica, correspondendo à chamada dor em queimação, ao contrário da via neoespino-talâmica, que veicula dores localizadas do tipo dor em

pontada. Nas cordotomias ântero-laterais (cirurgias usadas para tratamento da dor), os dois tipos de dor são abolidos, pois são selecionadas tanto as fibras espino-talâmicas como as espino-reticulares. Entretanto, para aolição das dores profundas de origem visceral, são necessárias cordotomias bilaterais visando lesar também as fibras paleoespino-talâmicas homolaterais. Lesões estereotáxicas nos núcleos talâmicos em pacientes com dores intratáveis decorrentes de câncer comprovam a dualidade funcional das vias da dor. Assim, a lesão do núcleo ventral póstero-lateral (via neoespino-talâmica) resulta em perda da dor superficial em pontada, mas deixa intacta a dor crônica profunda. Esta é abolida com lesão dos núcleos intralaminares, o que, entretanto, não afeta a dor superficial (Machado, 2000).

A dor aguda é frequentemente descrita como sendo inteiramente uma resposta fisiológica normal a algumas formas de estímulos nocivos. Ela é frequentemente descrita como uma reação saudável, pois permite ao organismo saber que a homeostase foi interrompida de alguma forma. Existem efeitos sistemáticos ao estímulo periférico local ao longo do reflexo de “correr ou lutar” os quais permitem ao organismo reagir apropriadamente se o estímulo representa ou não um perigo ao organismo (Meyr e Steinberg, 2008).

Lent (Lent, 2005) cita que os receptores da dor distribuem-se por praticamente todos os tecidos do organismo, com exceção do sistema nervoso central, onde não existem nociceptores. Uma vez estimulados, química, mecânica ou termicamente, os nociceptores produzem potenciais receptores como todos os demais receptores sensoriais, e esses são codificados em salvas potenciais de ação na membrana vizinha à extremidade especializada na transdução. Tanto as fibras A δ como as fibras C se incorporam aos nervos periféricos, terminando por penetrar na medula através dos nervos espinhais e no tronco encefálico através do nervo trigêmeo. Os corpos dos neurônios primários da dor localizam-se como em todas as demais submodalidades somestésicas, nos gânglios espinhais e no gânglio trigêmeo. Ainda de acordo com o autor, a maioria dos neurônios de segunda ordem situa-se no corno dorsal da medula e no núcleo espinhal do trigêmeo, onde recebem as sinapses dos aferentes de primeira ordem e de outros aferentes, formando ali pequenos círculos locais de grande importância para a percepção final da dor. Os neurônios de segunda ordem da dor emitem axônios dentro da medula que cruzam para o lado oposto, nos mesmos segmentos em que entraram os aferentes primários e se incorporaram ao feixe espinothalâmico, situado na coluna ântero-lateral da medula. Este feixe ascende por toda

a medula até o tronco encefálico, onde se encontra com as fibras nociceptivas de segunda ordem do núcleo espinhal do trigêmeo para formar o lemnisco espinhal. Até este ponto as fibras de dor rápida e as de dor lenta estão misturadas. Outras fibras desse sistema nociceptivo mais antigo terminariam em regiões do tronco encefálico encarregadas de promover reações comportamentais e fisiológicas da dor. Os impulsos da dor rápida são veiculados diretamente a dois núcleos talâmicos, onde estão os neurônios de terceira ordem cujos axônios projetam ao córtex somestésico primário. A via direta da dor rápida explica as suas características fisiológicas principais: estrita correlação com o estímulo e precisa localização espacial. Essas características fazem com que a dor rápida consista em um sistema de sinalização de maior velocidade, capaz de ativar reflexos que possam contribuir para afastar o organismo do estímulo nocivo que a provocou.

Com relação à dor lenta, Lent cita que esta possui características diversas: o estímulo nocivo cessa, mas ela continua; sua origem corporal é de difícil localização. Assim, na vigência da dor lenta não podemos mais nos livrar do estímulo inicial, pois ele já cessou. As vias periféricas da dor lenta são realmente muito ramificadas e convergentes, e as vias centrais são bem mais complexas que as das demais submodalidades somestésicas (Lent, 2005).

A sensação dolorosa é um fenômeno multidimensional, e caracterizá-la como tal significa observar e avaliar a experiência nas suas várias dimensões, quais sejam: neurofisiológica, pois envolve mecanismos de ativação dos receptores periféricos; psicossocial, considerando a influência emocional positiva e negativa sobre o indivíduo; cognitivo-cultural, relacionando-a a crenças, significados e comportamentos prévios à dor; comportamental, pois estressores situacionais, de desenvolvimento profissional e pessoal podem exercer influência sobre o limiar da dor; e sensorial relativa às características semiológicas da mesma (Posso, 2004).

Também é visto que a dor é um grande problema de saúde pública (Leão e Silva, 2004) e gera muitos gastos relacionados aos aspectos médicos e sociais para realizar o diagnóstico e tratamento de suas causas.

Como foi visto, todos estamos sujeitos a esta sensação e como existem grandes diferenças entre os seres humanos, tais como etnia, idade, gênero, entre outros, este trabalho objetivou também a análise das diferenças do limiar de dor e da tolerância à dor. O limiar de dor se refere à menor intensidade de estímulo percebida como dolorosa pelo sujeito e ainda não é claro em que grau o limiar de dor é relevante. A tolerância à

dor se refere à máxima intensidade de dor que o sujeito pode suportar. Por segurança, a avaliação da tolerância da dor é limitada em um número substancial de sujeitos (Nielsen, 2009). No caso do presente estudo, o limiar e a tolerância da dor foram avaliados e como segurança para a sua tolerância, o equipamento foi configurado para não ultrapassar 50 mA de corrente máxima. Poucos trabalhos estudaram as diferenças na percepção de dor entre gêneros (Myers, Robinson *et al.*, 2001; Al'absi, Wittmers *et al.*, 2004; Hurley e Adams, 2008) e todos os estudos revisados mostram que as mulheres possuem um menor limiar de dor e uma menor tolerância à dor.

Robinson (Robinson e Wise, 2003) relata em seu estudo que foi percebido que as mulheres sentem mais dor que os homens. O trabalho expôs homens e mulheres a vídeos de pessoas passando por estímulos dolorosos de temperatura (estímulos frios e quentes). Os voluntários que assistiram aos vídeos relataram que os homens submetidos aos estímulos térmicos sentiram menos dor que as mulheres. Com relação aos homens e mulheres que assistiram aos vídeos foi observado que as mulheres, ao assistirem vídeos de mulheres submetidas aos estímulos taxaram a sensação de dor observada significativamente mais alta que os homens que assistiram aos vídeos. O mesmo aconteceu quando foram mostrados vídeos de homens passando pelos estímulos dolorosos. As taxas de intensidade de dor a tolerância à dor nos participantes dos vídeos não se diferenciaram com relação ao gênero, entretanto a pequena amostra não proporciona força significativa para se afirmar algo.

Hurley e Adams (Hurley e Adams, 2008) citam que um grande número de dados foi coletado nos últimos 20 anos sobre a diferenciação entre homens e mulheres com relação à resposta a dor, incluindo limiares de dor a tolerância e resposta no tratamento da dor. Os autores ainda afirmam que outros trabalhos são necessários para se estudar tais diferenças entre homens e mulheres. Devido a tal fato neste estudo um número igual de homens e mulheres foi selecionado para serem sujeitos da pesquisa, assim objetivamos acrescentar dados importantes com relação a tal diferenciação entre gêneros. Mesmo com as citações de AL'Absi (Al'absi, Wittmers *et al.*, 2004) e Hurley e Adams (Hurley e Adams, 2008) dizendo que muitos estudos têm sido realizados para elucidar tal problema os resultados ainda são inconclusivos.

Um estudo realizado em 1991 por Feine *et al.* (Feine, Bushnell *et al.*, 1991) comparou a percepção dolorosa em jovens de ambos os gêneros utilizando estímulos de calor que variaram entre 45°C e 50°C. Como resultado foi observado que as mulheres que receberam os mesmos estímulos térmicos que os homens relataram como mais

dolorosos. Foi também observado que as mulheres relataram melhor as variações de temperatura com relação aos homens, isto pode indicar que a variação relacionada ao gênero com relação à percepção dolorosa é possivelmente mais relacionada a fatores sensitivos que com fatores como atitude e resposta emocional. O presente estudo, ao relacionar um potencial evocado (eletroestimulação) com aumentos gradativos do estímulo pode mostrar essa maior sensibilidade das mulheres com relação à percepção dolorosa.

2.2 Indução de dor

De acordo com vários autores (Barr, Nielsen *et al.*, 1986; Solomon, Shebshacvich *et al.*, 2003; Ervilha, Nielsen *et al.*, 2004) para se induzir a dor são utilizados vários estímulos, entre eles a eletroestimulação, a algometria de pressão, injeção intramuscular de solução salina hipertônica, estímulos térmicos, entre outros.

Alguns trabalhos utilizam a eletroestimulação para estudar e induzir a dor (Barr, Nielsen *et al.*, 1986; Chesterton, Barlas *et al.*, 2002; Ayesh, Jensen *et al.*, 2007; Minetto, Botter *et al.*, 2008), podendo esta ser uma ferramenta muito útil para estudos *in vivo* das propriedades de contração do músculo esquelético (Baratta, Ichie *et al.*, 1989). O benefício deste estímulo é o fato de poder ser completamente controlado pelo pesquisador.

A estimulação elétrica nervosa transcutânea consiste em um gerador de pulsos capaz de emití-los com uma variedade de características e frequências de estimulação. Para o tratamento da dor, são utilizadas frequências entre 30 e 100 Hz, por serem mais confortáveis, entretanto as frequências mais baixas são ditas pelos pacientes como muito desconfortáveis (Waldman, 2009).

A eletroestimulação do sistema neuromuscular pode ser utilizada para diversas finalidades clínicas. Na pesquisa, ela pode ser usada para se investigar as propriedades fisiológicas do sistema neuromuscular e se a fadiga é devido a alguma falha na transmissão neuromuscular, a fatores relacionados à excitabilidade da membrana da fibra muscular ou a fenômenos intracelulares (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

Durante a eletroestimulação os potenciais de ação das unidades motoras são evocados e sincronizados pelo estímulo externo, gerando assim uma resposta evocada referida como o potencial de ação composto, ou onda-M, associado a cada estímulo. A

estimulação elétrica gera o benefício de podermos observar a ação do músculo pretendido sem a influência do sistema nervoso central, isso gera um grande leque de opções para experimentos e um mais alto grau de controle do que está sendo estudado (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

Como pôde ser observado a eletroestimulação é um meio seguro e completamente controlável para os pesquisadores e também para os voluntários das pesquisas. Entre outros fatores esse foi o principal motivo que este trabalho utilizou a estimulação elétrica como meio de indução dolorosa.

Um método de indução de dor que foi pesquisado e testado no início deste trabalho foi a algometria de pressão, que é uma técnica que mensura a fisiologia do sistema nociceptivo. Atuando diretamente sobre os nociceptores periféricos responsivos aos estímulos pressóricos, esta técnica permite o estudo da integridade nociceptiva em indivíduos normais ou portadores de diferentes síndromes álgicas (Piovesan, Tatsui *et al.*, 2001). Tal técnica nada mais é que a utilização de um aparelho que quantifica a pressão induzida (em várias unidades de medida) em uma ponta de prova, assim o avaliador apenas aplica esta ponta de prova no voluntário e a força é registrada pelo aparelho.

De acordo com Kinser (Kinser, Sands *et al.*, 2009) os algômetros são equipamentos que podem ser utilizados para identificar a pressão e/ou força, provocando o limiar de pressão da dor.

Solomon (Solomon, Shebshacvich *et al.*, 2003) utilizou a algometria de pressão como meio experimental de dor mecanicamente induzida para avaliar a eficácia de seu protocolo, que foi realizado com estimulação elétrica, estímulos frios e quentes, sendo estes estímulos emitidos separadamente ou não.

O estudo de Giesbrecht (Giesbrecht e Battie, 2005) comparou o limiar de detecção de dor por pressão em pessoas com dores lombares crônicas e em pessoas sem dor. Ao se induzir a dor com a algometria foi observado que os pacientes que sofriam de dores lombares crônicas possuíam um menor limiar de dor com relação aos pacientes que não sentiam dor.

Ishitani (Ishitani, Masumoto *et al.*, 2005) utilizou a eletroencefalografia para registrar a atividade cerebral em resposta à dor orofacial em indivíduos saudáveis, o método de indução da dor foi a algometria de pressão, assim a dor induzida e as diferenças nas atividades cerebrais puderam ser observadas. Os voluntários foram divididos em dois grupos, um com o limiar de dor mais baixo e outro com o limiar de

dor mais alto. Os indivíduos com o limiar mais baixo mostraram uma maior atividade eletroencefalográfica com relação ao outro grupo. Isso mostrou que no grupo onde os voluntários são mais sensíveis a dor a atividade cerebral foi maior.

Em um trabalho para se analisar a interação farmacodinâmica entre o propofol e o Remifentanil em voluntários Kern (Kern, Xie *et al.*, 2004) utilizou a algometria de pressão e a eletroestimulação para se quantificar a resposta analgésica em voluntários. Os próprios autores do trabalho construíram o algômetro utilizado.

Com relação à indução dolorosa por meio de aplicação de solução salina hipertônica podemos citar o trabalho de Ervilha (Ervilha, Nielsen *et al.*, 2004), que hipotetizou que a dor muscular afeta o controle dos movimentos de flexão por diminuição da atividade muscular agonista com consequentes implicações em parâmetros cinesiológicos. Assim os autores induziram a dor por meio de injeção de solução salina intramuscular (5,8%) em uma taxa de 90 ml/h. Também foi utilizada a EVA para a indicação do voluntário com relação à sua percepção dolorosa.

Os estudos relatados acima mostram um pouco do que é encontrado na literatura sobre a indução de dor. Porém esta breve introdução objetiva deixar o leitor um pouco mais inteirado sobre o assunto, para a melhor compreensão dos próximos capítulos.

2.3 Mensuração da dor

A avaliação da dor é um problema muito bem conhecido pelos profissionais da saúde (Jensen, Bradley *et al.*, 1989). De acordo com Souza (Souza, 2002) a dor é um fenômeno que não pode ser objetivamente mensurado. Talvez esse seja um dos aspectos mais frustrantes e limitantes para o clínico e o pesquisador nessa área. A mensuração da dor constitui um aspecto ainda não completamente equacionado e, certamente existem fatos de confusão na caracterização das síndromes dolorosas e nos resultados dos tratamentos e de pesquisa. Ainda de acordo com o pesquisador vários métodos têm sido utilizados para mensurar a percepção/sensação de dor. Alguns métodos consideram a dor como uma qualidade simples, única e unidimensional que varia apenas em intensidade, mas outros a consideram como uma experiência multidimensional composta também por fatores afetivo-emocionais. Os instrumentos unidimensionais são mais simples e são utilizados apenas para quantificar a intensidade da dor. As escalas de categoria numérica/verbal e a EVA, que são frequentemente empregadas em ambientes

clínicos são exemplos destes instrumentos. Os instrumentos multidimensionais, de outro lado, são empregados para avaliar e mensurar as diferentes dimensões da dor a partir de distintos indicadores de respostas e suas interações. Algumas escalas multidimensionais incluem indicadores fisiológicos, comportamentais, contextuais e, também, os auto-registros por parte do paciente. Exemplos desses instrumentos são a escala de descritores verbais diferenciais e o Questionário McGill de avaliação da dor (Sousa, 2002).

Uma forma simples de se avaliar a dor é a EVA, onde os sujeitos são instruídos a indicar a intensidade do estímulo nocivo induzido em laboratório em uma tabela com uma linha rotulada desde “sem dor” em uma extremidade até “a pior dor imaginável” na outra. Em outros casos os voluntários são instruídos para simplesmente relatarem um número de 0 a 10 para indicar a intensidade dolorosa (Chapman, Casey *et al.*, 1985).

Kane (Kane, Bershadsky *et al.*, 2005) utilizaram um protocolo para se padronizar o uso das escalas de EVA. O estudo dos autores analisou vários relatos de dor em voluntários (experimentados ou não por eles) e a relação com a dor que estava sendo sentida naquele momento. Concluíram que é possível se utilizar os resultados da EVA para se comparar a dor entre diferentes populações.

A determinação dos limiares de percepção dolorosa é uma ferramenta útil que pode, além de caracterizar um determinado grupo de pacientes, também auxiliar na compreensão do seu comportamento algico (Piovesan, Tatsui *et al.*, 2001).

Estudar e compreender a dor são temas que necessitam de muita atenção, principalmente ao se analisar que sua quantificação poderia reduzir alguns gastos de tratamentos de saúde por facilitar sua condução e até mesmo promover o acompanhamento dos resultados de terapias alternativas e medidas não-farmacológicas. O limiar e a tolerância à dor devem receber especial atenção, pois são pontos críticos para seu estudo. Tais pontos são importantes parâmetros para que o pesquisador possa se embasar ao estudar a dor em voluntários.

Bottega (Bottega e Fontana, 2010) em um estudo sobre a impressão de enfermeiros sobre o uso de uma EVA de avaliação da dor em adultos citam a importância desta avaliação e ainda mencionam que entender melhor a intensidade da dor facilita a tomada de decisões, bem como o acompanhamento da eficácia do cuidado prestado.

No estudo de Motl (Motl, Knowles *et al.*, 2003) foi avaliada a EVA durante estímulos elétricos com o objetivo de atingir as máximas ondas-M e H. O experimento

demonstrou que as taxas de dor associadas com as ondas-M e H máximas não se diferenciaram entre os músculos sóleo e os flexores radiais do carpo e que as taxas de dor foram mais altas para as ondas-M máximas com relação às ondas-H máximas em ambas as musculaturas.

Ahlers (Ahlers, Gulik *et al.*, 2008) avaliaram a dor nos pacientes em estado crítico nas unidades de terapia intensiva (UTI) por meio de escala numérica e escala comportamental para comparar os níveis de dor em diferentes métodos e o nível de confiança destes entre os observadores. Tais métodos também foram comparados com a EVA. As diferentes escalas mostraram uma alta confiabilidade, porém a avaliação baseada pelo observador frequentemente subestimava a dor, principalmente quando o paciente relatava uma dor de número igual ou inferior a quatro na escala numérica.

De acordo com Siqueira (Siqueira e Teixeira, 2001) a mensuração das respostas do sistema neurovegetativo simpático é mais frequente na dor aguda, situação em que tais respostas são mais expressivas. É importante ressaltar que a avaliação da dor requer o uso de diversos métodos e instrumentos de análise. A somatória dos dados observados possibilita ao profissional um julgamento clínico mais adequado.

O trabalho de Ayesh (Ayesh, Jensen *et al.*, 2007) levantou a hipótese de que pessoas com artralgia (dores articulares) na articulação temporo-mandibular têm uma hipersensibilidade específica a estímulos dolorosos e entre alguns outros testes foi avaliada a sensação dolorosa nesses pacientes. Os resultados mostraram que as pessoas com artralgia na articulação temporo-mandibular possuem uma detecção de dor menor que em pacientes saudáveis. Não houve diferenças entre os pacientes com artralgia e também não foram detectadas diferenças relacionadas ao gênero. O autor ainda cita que seu estudo foi o primeiro a reportar a sensibilidade a estímulos dolorosos elétricos na articulação temporo-mandibular em pessoas com artralgia e que mais estudos serão necessários antes do método avaliado se tornar um teste clínico.

Entre pacientes que estão na mesma condição clínica, as taxas de dor relatadas geralmente variam na escala verbal de dor desde “sem dor” até “a pior dor imaginável”. A sensibilidade à dor deve ser estimada apenas através do uso de métodos muito bem controlados (Nielsen, Staud *et al.*, 2009).

O diagnóstico e tratamento da dor podem ser comprometidos por grandes diferenças individuais na sensibilidade dolorosa e isso também pode confundir alguns testes clínicos. A avaliação da sensibilidade dolorosa pode ser relevante para a

prevenção, avaliação e tratamento de dores agudas e crônicas (Nielsen, Staud *et al.*, 2009).

Jensen (Jensen, Bradley *et al.*, 1989) relatou em seu estudo que métodos de observações comportamentais geraram informações confiáveis e válidas com relação à dor não crônica em mulheres.

Por ser uma experiência subjetiva, a dor não pode ser objetivamente determinada por instrumentos físicos que, usualmente, mensuram o peso corporal a temperatura, a estatura, a pressão sanguínea e o pulso. Ou seja, não existe um instrumento padrão que permita a um observador externo, objetivamente, mensurar essa experiência interna, complexa e pessoal (Sousa, 2002). Levando tal fato em consideração foi realizada uma minuciosa revisão da literatura e foi observado que vários autores (Svensson, Minoshima *et al.*, 1997; Ervilha, Nielsen *et al.*, 2004; Lui, Duzzi *et al.*, 2008) têm sugerido que muitos sinais biológicos, em especial os biopotenciais (e.g. eletromiografia, eletroencefalografia, eletrocardiografia) que são medidos de maneira não invasiva sobre a superfície do corpo, refletem processos dolorosos, e, dessa forma, podem ser uma ferramenta importante na mensuração da dor. Estes sinais biológicos podem ser muito importantes na análise da percepção dolorosa, pois não dependem do relato do voluntário, que pode ser influenciado por fatores externos, prejudicando assim toda a análise dos dados. Para a utilização destes biopotenciais é necessário que um estímulo seja enviado ao voluntário, tal estímulo pode ser por meio de correntes elétricas, calor, pressão, entre outros.

EMG é uma técnica de monitoramento da atividade elétrica das membranas excitáveis, representando a medida dos potenciais de ação do sarcolema, como efeito de voltagem em função do tempo. O sinal eletromiográfico é a somatória algébrica de todos os sinais detectados em certa área, podendo ser afetado por propriedades musculares, autonômicas e fisiológicas, assim como pelo controle do sistema nervoso periférico e a instrumentação utilizada para a aquisição dos sinais (Enoka, 2000).

“Testes eletromiográficos envolvem a avaliação de atividades elétricas de um músculo e é uma das partes fundamentais de eletrodiagnóstico de uma consulta médica. É uma arte e ciência. Requer um completo conhecimento da anatomia dos músculos a serem testados, configurações do equipamento e da neurofisiologia atrás de todo o teste” (Weiss, Silver *et al.*, 2004).

Além de estudos fisiológicos e biomecânicos básicos, a EMG é estabelecida como uma ferramenta na pesquisa aplicada para a reabilitação, treinamento de esportes

e interações do corpo humano com produtos industriais. A EMG é utilizada na pesquisa médica (ortopedia, cirurgia, neurologia funcional, análises de marcha e postura), reabilitação (pós-cirurgia, reabilitação neurológica, terapia física), ergonomia e ciências do esporte (biomecânica, análise de movimentos, ganho de forças em atletas, reabilitação em esportes) (Konrad, 2005).

A EMG capta os potenciais de ação do músculo estudado. Quando a membrana pós-sináptica de uma fibra muscular é despolarizada esta despolarização se propaga em ambas as direções ao longo da fibra. A despolarização da membrana, acompanhada por um movimento dos íons, gera um campo eletromagnético nas proximidades da fibra muscular. Um eletrodo localizado nesta região irá detectar o potencial, que é conhecido como potencial de ação. A forma do potencial de ação observado depende da orientação do contato do eletrodo de detecção com relação às fibras ativas (Basmajian e Luca, 1985).

No tecido muscular humano, a amplitude do potencial de ação é dependente de alguns fatores, como o diâmetro da fibra muscular, a distância entre a fibra muscular ativa e o campo de detecção e das propriedades de filtro do eletrodo. A duração do potencial de ação é inversamente relacionada à velocidade de condução da fibra muscular, podendo variar entre 3m/s a 6m/s (Basmajian e Luca, 1985).

Até agora os potenciais de ação das fibras musculares têm sido considerados como eventos individuais distinguíveis. Entretanto, desde que as despolarizações de fibras musculares de uma unidade motora se sobrepõem no tempo, o sinal resultante presente no campo de detecção constituiu uma superposição espacial-temporal das contribuições dos potenciais de ação individuais. O sinal resultante é chamado de potencial de ação da unidade motora (PAUM). Se fibras musculares pertencentes a outras unidades motoras na região detectável dos eletrodos forem excitadas os seus PAUM's também serão detectados. Entretanto, a forma de cada PAUM geralmente varia de acordo com o arranjo único das fibras de cada unidade motora com relação ao campo de detecção. Os PAUM's de diferentes unidades motoras podem ter amplitudes e formas similares quando as fibras musculares de cada unidade motora na região detectável do eletrodo têm um arranjo espacial similar (Basmajian e Luca, 1985).

Técnicas de detecção para sinais mioelétricos eletricamente evocados não são substancialmente diferentes daquelas usadas para se detectar sinais evocados voluntariamente. Eletrodos de superfície são tipicamente usados para esta proposta. Se ambos os eletrodos estão dentro ou acima do músculo, a detecção é dita como bipolar.

Se apenas um eletrodo está dentro ou acima do músculo e o outro está em uma região eletricamente inativa a detecção é dita como monopolar (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

Como a eletroestimulação gera movimentos involuntários nos músculos estimulados, os potenciais evocados podem ser capazes de detectar tais movimentos.

A estimulação elétrica do sistema neuromuscular é utilizada em uma grande variedade de pesquisas, para diagnósticos, terapias e em aplicações ortopédicas. Em aplicações direcionadas para a pesquisa a estimulação elétrica é utilizada para investigar as propriedades fisiológicas do sistema neuromuscular. Utiliza-se também a eletroestimulação para se investigar se a fadiga muscular é devido a uma falha na transmissão neuromuscular, a fatores relacionados à excitabilidade da membrana da fibra muscular ou a fenômenos intracelulares (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

Um músculo eletricamente estimulado pode ser imaginado como uma gigante unidade motora em que a superfície do PAUM é a somatória de muitas PAUM's síncronas. A contribuição de cada PAUM para o sinal detectado da superfície é afetada por fatores geométricos e fisiológicos, que possuem um importante papel durante as contrações voluntárias e evocadas. Três fatores mais relevantes podem ser identificados: fatores geométricos, fatores que determinam a média e a probabilidade da função de densidade da contração voluntária e fatores que determinam a duração e o potencial de distribuição das zonas polarizadas das fibras musculares. O segundo e o terceiro fator se relacionam à circunscrição da fibra do conjunto de unidades motoras ativas, ao fluxo sanguíneo e aos deslocamentos iônicos através da membrana da fibra muscular. Todos estes fatores estão relacionados com o nível de ativação do músculo (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

No estudo de Candotti (Candotti, Loss *et al.*, 2008), a EMG foi utilizada como um parâmetro na avaliação de dores lombares. Foi realizado um teste de fadiga em 60 pacientes, 30 com dores lombares e 30 sem dores lombares. Os sujeitos portadores de dores lombares produziram valores de força significativamente menores que os voluntários sem dores lombares. Concluiu-se que a EMG foi capaz de apontar manifestações precoces com relação à fadiga muscular, podendo ser uma ferramenta para a avaliação de dores lombares.

Durante a estimulação elétrica os potenciais de ação das unidades motoras são evocados e sincronizados pelo estímulo externo, gerando assim uma resposta evocada conhecida como potencial de ação composto, ou onda-M, este é associado com cada um dos estímulos (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

A detecção de sinais EMG durante estimulação elétrica muscular permite a avaliação de propriedades periféricas do sistema neuromuscular sem o envolvimento direto do sistema nervoso central. A Figura abaixo mostra uma onda-M extraída dos testes deste trabalho em um voluntário do gênero masculino (Voluntário 1) durante a aplicação de 28 mA de corrente.

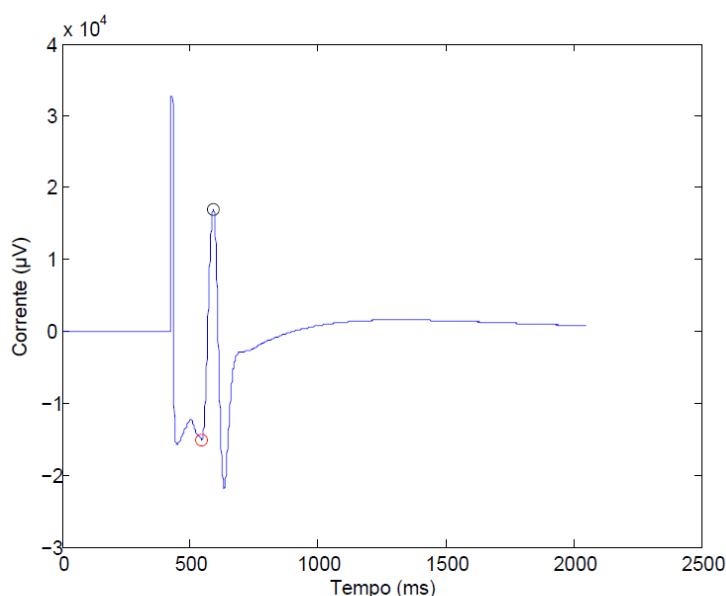


Figura 1 - Exemplo de onda-M com marcações relativas ao pico superior e inferior.

Como já foi dito as ondas-M são potenciais de ação musculares evocados por estimulação elétrica (Weiss, Silver *et al.*, 2004). Tais ondas são uma importante ferramenta para se investigar várias áreas dentro da pesquisa neurofisiológica (Calder, Hall *et al.*, 2005).

As propriedades da onda-M dependem de alguns fatores, incluindo o número de unidades motoras ativas, a dispersão de suas zonas de inervação, a distribuição da velocidade de condução das unidades motoras, a localização das unidades motoras dentro do músculo, da espessura das camadas de tecidos subcutâneos, da orientação do sistema de detecção com relação às fibras musculares e ao formato do potencial de ação intracelular. A análise das propriedades das ondas-M pode permitir a investigação das modalidades de ativação da unidade motora com aumentos de correntes de estimulação (Farina, Blanchietti *et al.*, 2004).

Como as ondas-M são encontradas através da eletroestimulação, a presença de artefatos pode ser um problema durante sua detecção. A situação se torna ainda mais crítica quando os eletrodos utilizados na EMG e na estimulação são de superfície. As ondas-M obtidas pela estimulação de um ponto motor muscular e detectadas no mesmo músculo podem ser contaminadas por artefatos os quais a magnitude é de uma a duas ordens maiores que a onda-M (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992). Devido a isso a estimulação e a coleta dos sinais devem ser obtidas a partir de equipamentos que propiciem confiança e segurança ao pesquisador, desta forma a possibilidade de artefatos interferirem nos dados é reduzida.

O estudo realizado por Merletti (Merletti, Conteb *et al.*, 1995) mostrou que a forma das ondas-M parece ser mantida a mesma entre testes e experimentos realizados no mesmo voluntário, as variações ocorrem apenas na amplitude e na duração da onda. O autor ainda cita que a localização do eletrodo é uma questão crítica no estudo das ondas-M advindas da eletroestimulação de um ponto motor muscular.

As propriedades da onda-M evocada são afetadas apenas pela excitabilidade do sarcolema e pelo potencial de ação intracelular (Farina, Arendt-Nielsen *et al.*, 2005). A velocidade de condução e a amplitude medidas a partir da onda-M é uma indicação direta da condição periférica do sistema (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992).

Farina (Farina, Arendt-Nielsen *et al.*, 2005) aplicou uma solução hipertônica salina no músculo tibial anterior e investigou a atividade eletromiográfica voluntária e eletricamente evocada e as propriedades da onda-M em níveis crescentes de dor para se investigar eventuais efeitos nas estratégias do controle central. Antes das coletas de dados foi esperado que a velocidade de condução e outras características da onda-M não seriam afetadas pela solução salina. De acordo com os autores, a velocidade de condução, amplitude e conteúdo espectral das ondas-M não sofreram alterações com a injeção da solução salina hipertônica. Foi concluído que, devido ao fato de não haver alterações nas ondas-M, as atividades eletromiográficas durante contrações voluntárias ocorreram principalmente devido a fatores centrais e não a fatores periféricos.

Merletti (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992) em seu artigo de revisão cita que se fatores geométricos forem considerados invariantes no tempo durante uma contração sustentada, os sinais detectados serão funções das fontes do campo elétrico e da velocidade de condução das fibras musculares. A velocidade de condução das fibras musculares, frequência média e mediana da função de densidade espectral de força do sinal mioelétrico são funções do diâmetro da fibra muscular, temperatura intramuscular,

e pH intra e extra celulares. A concentração de hidrogênio (pH) é relacionada às taxas de geração e remoção de H^+ . A taxa de geração de H^+ é função de tipo, número, e taxa de disparo das fibras ativas. Enquanto que a taxa de remoção de H^+ é relacionada ao fluxo sanguíneo, o qual é uma função da pressão intramuscular e, portanto, do nível de contração. As propriedades da membrana da fibra muscular são afetadas pelo gradiente de concentração de Na^+ , K^+ , H^+ e vários outros íons, portanto, a forma da onda (espacial e temporal) e o comprimento (e duração) do potencial de ação são afetados pelos mesmos fatores. Durante contrações sustentadas, o pH e os gradientes iônicos se alteram, levando a mudanças no comprimento e forma, duração temporal e forma, amplitude e velocidade de condução das fibras musculares do potencial de ação e eventualmente resultando em modificações no PAUM e na onda-M de superfície.

O trabalho de Cupido (Cupido, Galeat *et al.*, 1996) cita que quando a fibra muscular se contrai, o efluxo de K^+ causa a elevação da concentração deste íon no líquido intersticial, este aumento ocorre especialmente quando uma contração máxima é mantida por vários segundos (Vyskocil, Hink *et al.*, 1983), parcialmente devido à perfusão de sangue arterial através do ventre muscular é prevenido um aumento na pressão intramuscular (Barcroft e Millen, 1939). Sobre esta ultima condição, uma despolarização induzida por K^+ das fibras musculares pode ser esperada, levando a um declínio do tamanho da onda-M evocada por um estímulo ao nervo motor

2.4 Considerações finais

Tendo como referência os dados citados neste capítulo podemos concluir que o processo doloroso gera problemas significativos e um método para sua mensuração objetiva ainda não está disponível. Foi citado também que a análise das ondas-M pode ser uma ferramenta para solucionar o problema da dor, assim com a eletroestimulação que é um meio de estimulação potencialmente doloroso que pode ser muito bem controlado pelo pesquisador. Diante de tais informações é relevante um estudo que se utilize um biopotencial para se mensurar a percepção dolorosa, tendo assim como ferramenta a eletroestimulação.

Materiais e Métodos

Um grande desafio para a realização desta pesquisa foi a elaboração de um protocolo eficiente e viável, pois poucos estudos realizaram experimentos semelhantes para podermos nos embasar. O método descrito a seguir foi elaborado, levando-se em consideração o estímulo doloroso utilizado e o que seria extraído a partir deste, no caso a onda-M foi selecionada.

3.1 Voluntários: critérios de inclusão e exclusão

Foram estudados 16 indivíduos saudáveis, sendo oito do gênero masculino e oito do gênero feminino, com faixa etária entre 18 e 30 anos, acadêmicos dos cursos da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Engenharia Biomédica da UFU. Os dados foram coletados após a emissão do parecer do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) desta instituição.

Foram empregados os seguintes critérios de inclusão para os voluntários: não apresentar histórico de cirurgia, dor ou lesão no membro inferior dominante: os critérios de inclusão visam selecionar indivíduos que não tenham comprometimento por cirurgia, lesão ou dor crônica dos receptores nociceptivos, os quais, por sua vez, são primordiais para a sensação de dor; apresentar idade entre 18 e 30 anos: em relação à idade, o limite superior é devido ao fato que a partir dos 30 anos há sarcopenia (perda de massa muscular), que aumenta gradualmente com o avançar da idade (MATSUDO *et al.*, 2000), ou seja, essa perda pode interferir na interpretação do estímulo elétrico.

Com relação aos critérios de exclusão as seguintes características foram pesquisadas: desordens neurológicas centrais ou periféricas e acometimentos

reumáticos, por interferir na interpretação do estímulo elétrico; uso de marcapasso ou problema cardíaco, devido ao estímulo elétrico; obesidade (IMC - Índice de massa corpórea $> 30 \text{ kg/m}^2$), pois como este é um estudo de base, o objetivo é avaliar indivíduos eutróficos; uso de medicamentos que provoquem alterações do controle motor e da sensibilidade periférica (benzodiazepínicos, narcóticos opióides, anti-histamínicos, anticonvulsivos e antidepressivos); amputação de membro inferior; *diabetes mellitus*, por causar comprometimento da sensibilidade periférica.

Cada um dos voluntários compareceu ao laboratório por cinco dias para realizar cinco testes idênticos. Em todos os dias os voluntários realizaram os testes no mesmo período do dia devido ao ritmo circadiano.

3.2 Protocolo de coleta de dados

Durante os testes os voluntários se posicionaram deitados confortavelmente, em decúbito dorsal, em uma poltrona reclinável e previamente limpa com álcool, com flexão plantar do tornozelo e inversão do pé. O pé utilizado foi o dominante do voluntário. Antes do posicionamento dos eletrodos a pele no local onde eles seriam posicionados foi limpa com álcool e, quando necessário, foi tricotomizada (retirada de pelos). O eletrodo de referência da eletroestimulação foi fixado na margem lateral do pé e o eletrodo de eletroestimulação foi colocado na margem medial do pé, no ponto motor do músculo abdutor do hálux.

Para a detecção do ponto motor do músculo abdutor hálux foi utilizado um eletrodo em forma de caneta, o qual era deslizado sobre a margem medial do pé do sujeito concomitantemente com a emissão de pulsos elétricos. O ponto que teve a máxima resposta mecânica com o mínimo de corrente foi considerado como o ponto motor do músculo abdutor do hálux do indivíduo (Figura 2).



Figura 2 - Detecção do ponto motor do músculo abdutor do hálux (margem medial).

Os eletrodos de EMG foram fixados entre o ponto motor e o tendão distal do músculo abdutor do hálux, com o eletrodo de referência posicionado no maléolo medial do mesmo membro. Os eletrodos de captação do sinal eletromiográfico e o eletrodo de referência foram fixados com fitas adesivas específicas para essa finalidade e um gel condutor específico foi utilizado entre estes eletrodos e a pele dos indivíduos (Figura 3).

Para garantir que os eletrodos de EMG e de eletroestimulação fossem posicionados no mesmo local nos cinco dias de teste, foi aplicado nos arredores de cada eletrodo uma camada de corante que se fixa na pele por cerca de uma semana, denominado *henna*. Para o posicionamento do eletrodo de referência de EMG não foi necessária a marcação da pele com a *henna*, pois o maléolo medial é um ponto de referência anatômico.

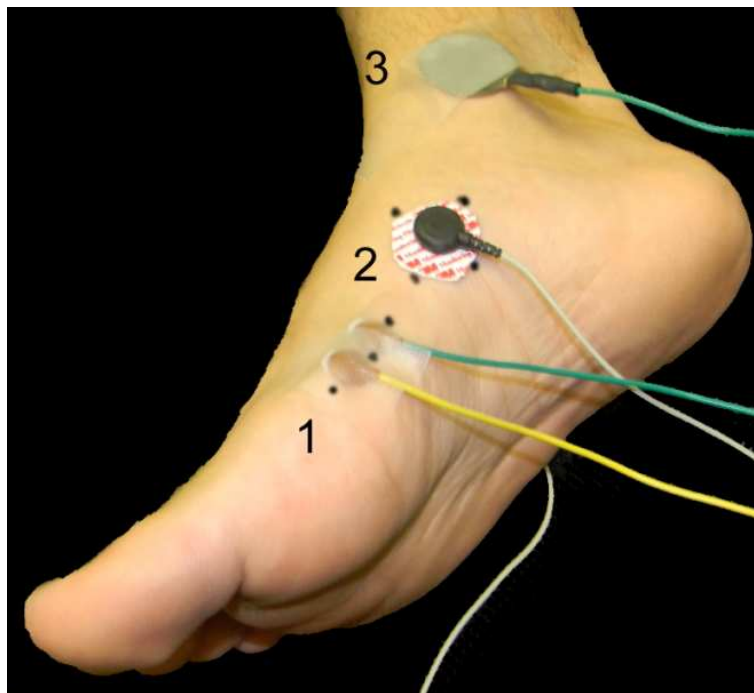


Figura 3 - Posicionamento dos eletrodos na margem medial do pé. (1) eletrodos de EMG, (2) eletrodo de eletroestimulação, (3) eletrodo de referência da EMG.

O nível de tolerância do sujeito de pesquisa foi verificado, utilizando a Escala Visual Analógica (EVA), aumentando gradualmente a intensidade do estímulo até o máximo limite suportável. Para utilizar a escala, o voluntário observou a figura (Figura 4) e indicou verbalmente a sua percepção da dor de 0 a 10, sendo que 0 indica ausência de dor e 10 dor máxima tolerável.

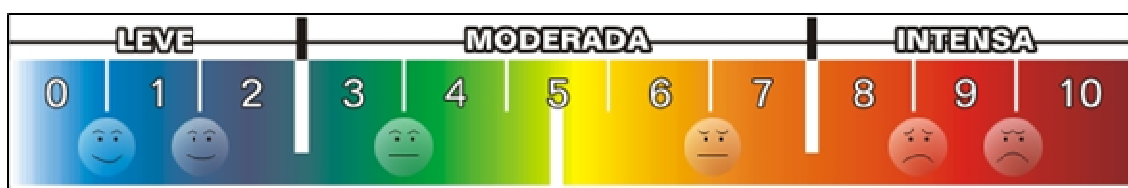


Figura 4 - Escala visual analógica

O voluntário recebeu estímulos de 20 pulsos de 2 Hz e 0,3 ms a partir de 1 mA. Após cada série de 20 pulsos o voluntário relatou o nível da dor percebida de acordo com a EVA e fez as observações que julgou necessárias para o pesquisador. Depois do relato do voluntário outros 20 pulsos foram emitidos com um incremento de 1 mA e assim sucessivamente até o momento em que o voluntário relatasse que atingiu a dor de nível 10 ou até que o valor de segurança de 50 mA fosse atingido.

Em cada sessão de 20 pulsos, o pesquisador registrou a dor percebida pelo voluntário em uma tabela de acordo com a EVA e as observações relatadas. Na mesma tabela existem os seguintes dados dos voluntários: data de nascimento; período do dia em que foi realizado o experimento; dia em que foi realizado o experimento; gênero e período do ciclo menstrual, no caso das mulheres.

A eletroestimulação e o registro eletromiográfico foram realizados com o equipamento Neuropack S1 MEB-9400, Nihon Kohden (Figura 5), que possui as seguintes características:

- Conexão USB com o computador;
- 16 bits de resolução;
- Taxa de aquisição por canal: 10 kHz;
- Aquisição de dados controlada pelo *software* Neuropack Manager versão 08.01;
- Eletrodos passivos;
- 4 canais para aquisição de sinais eletromiográficos;
- 1 canal para conexão do eletrodo de referência;
- Canais de estimulação elétrica, auditiva e visual.



Figura 5 - Equipamento Nihon Kohden utilizado para a coleta de dados.

Os dados das ondas-M gerados pelo equipamento Neuropack são em formato .txt e foram analisados por meio de programas desenvolvidos no MatLab, o qual gerou os gráficos (voltagem x tempo) das ondas-M e a partir destes gráficos foram obtidos e separados os seguintes valores de tais ondas: amplitude mínima, amplitude máxima, tempo mínimo e tempo máximo. Estes valores foram passados para o programa Excel, onde foram montados gráficos junto com o valor da corrente do estímulo (mA).

Após a montagem dos gráficos e a análise visual no programa Excel, foi observado que a relação entre o valor da corrente do estímulo (valor que aumenta de forma similar com o aumento da dor relatada pelo voluntário) e o valor do pico mínimo da onda-M possuíram linearidade, mostrando que esta relação pode ser analisada obtendo-se resultados que estejam ligados ao objetivo do presente trabalho.

Para cada um dos voluntários foi montada uma planilha contendo um gráfico da relação entre o valor da corrente e o pico mínimo da onda M, contendo os sinais dos cinco dias de testes.

Um erro no momento da captação dos sinais foi apresentado e houve um desvio diferente do normal nos voluntários 4 (1º e 2º dia) (Figura 9) e 8 (3º dia) (Figura 13) e no voluntária 12 (1º dia) (Figura 17). Foram utilizados os métodos de regressão quadrático e cúbico em cada um dos erros para se simular a continuação da trajetória como se não houvesse tal erro. Tal simulação está representada nos gráficos de forma pontilhada.

3.3 Considerações finais

A utilização do protocolo apresentado neste capítulo proporcionou a indução segura e controlada do estímulo doloroso e por meio da EVA foi possível a obtenção do nível de dor sentido por cada um dos sujeitos, isso aliado ao potencial evocado utilizado (onda-M) possibilitou que resultados importantes fossem extraídos, tais resultados são capazes de evidenciar características da onda-M possíveis de se comparar com os níveis dolorosos relatados pelos sujeitos da pesquisa.

Capítulo 4

Resultados

Este capítulo se destina a relatar os resultados obtidos durante a realização do protocolo relatado no capítulo anterior. Os resultados abrangem o valor em mA da corrente em que os sujeitos relataram a dor de nível 1 de acordo com a EVA, ou seja, o limiar de dor. Tais valores estão expressos em duas tabelas, uma com os sujeitos do gênero masculino e outro com os sujeitos do gênero feminino e estão seguidos pelas respectivas médias e desvios padrão. Outra tabela evidencia os valores de corrente onde todos os voluntários relataram a dor máxima (10 na EVA) e compara a média de todos os valores do limiar de dor e de todos os valores da tolerância à dor entre todos os sujeitos da pesquisa. Outra tabela mostra o dia do ciclo menstrual em que cada uma das mulheres participantes da pesquisa se encontrava durante cada uma das sessões em que participaram.

O presente capítulo também evidencia gráficos com a relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada em cada um dos sujeitos. Os dois gráficos finais mostram tais relações em testes sem a utilização da marcação da pele. Figuras de ondas-M obtidas a partir de testes desta pesquisa antes e após o início do relato da sensação dolorosa estão disponibilizadas.

4.1 Limiar de dor

As Tabelas 1 e 2 mostram os valores da corrente aplicada em mA em que cada um dos sujeitos relatou a presença da sensação dolorosa, as Tabelas estão divididas em gêneros, onde a Tabela 1 representa os sujeitos do gênero masculino e a Tabela 2 representa os sujeitos do gênero feminino. Também está evidenciada nas Tabelas a média e o desvio padrão destes valores para cada um dos sujeitos e o desvio padrão das mesmas. Na coluna da extremidade direita está descrito a média geral de todos os

voluntários descritos em cada uma das Tabelas, juntamente com o respectivo desvio padrão.

Tabela 1 - Representação dos valores da corrente de estimulação em mA em que os voluntários atingiram o limiar de dor e a média com o desvio padrão dos sujeitos do gênero masculino em cada um dos testes.

Homens

Sujeito	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5	Média ± DP	Média geral ± DP
1	15	17	19	20	22	18.6 ± 2.7	15.6 ± 5.3
2	17	19	19	18	21	18.8 ± 1.4	
3	27	19	26	30	30	26.4 ± 4.5	
4	8	11	12	13	19	12.6 ± 4	
5	9	9	11	10	12	10.2 ± 1.3	
6	13	12	14	13	13	13 ± 0.7	
7	17	13	13	14	14	14.2 ± 1.6	
8	11	11	11	11	12	11.2 ± 0.4	

Tabela 2 - Representação dos valores da corrente de estimulação em mA em que os voluntários atingiram o limiar de dor e a média com o desvio padrão dos sujeitos do gênero feminino em cada um dos testes.

Mulheres

Sujeito	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5	Média ± DP	Média geral ± DP
9	14	14	14	16	17	15 ± 1.4	14.8 ± 2.6
10	11	11	15	16	14	13,4 ± 2.3	
11	15	16	13	22	22	17.6 ± 4.1	
12	8	14	15	15	18	14 ± 3.6	
13	11	14	10	10	12	11.4 ± 1.6	
14	15	11	11	11	10	11.6 ± 1.9	
15	15	18	17	15	21	17.2 ± 2.4	
16	17	18	19	19	18	18.2 ± 0.8	

4.2 Tolerância à dor

As Tabelas 3 e 4 mostram os valores em que cada um dos sujeitos relataram a tolerância à dor em cada uma das sessões, as Tabelas estão divididas em gêneros, onde a Tabela 1 representa os sujeitos do gênero masculino e a Tabela 2 representa os sujeitos do gênero feminino. Também está evidenciada nas Tabelas a média e o desvio padrão destes valores para cada um dos sujeitos e o desvio padrão das mesmas. Na coluna da extremidade esquerda está descrito a média geral de todos os voluntários descritos em cada uma das Tabelas, juntamente com o respectivo desvio padrão.

Tabela 3 – Representação do valor de corrente de estímulo em mA em que os voluntários atingiram a tolerância à dor relatado por cada um dos sujeitos do gênero masculino, com média e desvios padrão individual e geral. O sujeito 3 (em todas as sessões) e o sujeito 4 (nas sessões 1, 3 e 5) não concluíram os testes, pois não relataram a dor 10 ao atingirem os 50 mA, que foi o limite de segurança padronizado pela pesquisa.

Homens							
Sujeito	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5	Média ± DP	Média geral ± DP
1	30	30	33	33	38	32.8 ± 3.2	
2	39	44	43	43	49	43.6 ± 3.5	
3	-	-	-	-	-	-	
4	-	45	-	45	-	45 ± 0	39.2 ± 7.6
5	21	29	26	24	31	26.2 ± 3.9	
6	44	41	47	45	42	43.8 ± 2.3	
7	35	39	35	35	38	36.4 ± 1.9	
8	46	44	47	47	50	46.8 ± 2.1	

Tabela 4 – Representação do valor de corrente de estímulo em mA em que os voluntários atingiram a tolerância à dor relatado por cada um dos sujeitos do gênero feminino, com média e desvios padrão individual e geral. O sujeito 10 (nas sessões 2, 3, 3 e 5) não concluiu os testes, pois não relatou a dor 10 ao atingir os 50 mA, que foi o limite de segurança padronizado pela pesquisa.

Mulheres

Sujeito	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5	Média ± DP	Média geral ± DP
9	27	30	30	33	33	30.6 ± 2.5	32.6 ± 7.8
10	48	-	-	-	-	48 ± 0	
11	32	35	33	39	41	36 ± 3.8	
12	20	24	29	26	30	25.8 ± 4	
13	27	28	27	29	31	28.4 ± 1.6	
14	23	24	24	22	23	23.2 ± 0.8	
15	27	33	34	30	34	31.6 ± 3	
16	26	43	38	42	40	37.8 ± 6.8	

4.3 Ciclo menstrual

Uma das preocupações do estudo foi registrar a fase do ciclo menstrual de cada um dos sujeitos do gênero feminino. Discretamente foi perguntado se a voluntária poderia realizar tal relato, apenas o sujeito 11 não se sentiu a vontade e preferiu não responder. A Tabela 3 mostra detalhadamente estes dias.

Tabela 5 – Dia do ciclo menstrual em que as voluntárias realizaram os testes. Foi considerado o primeiro dia o início da menstruação. A voluntária 3 por vontade própria não relatou a fase do ciclo menstrual durante os dias de teste.

Sujeito	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5
9	7° dia	10° dia	11° dia	12° dia	14° dia
10	20° dia	21° dia	22° dia	23° dia	24° dia
11	-	-	-	-	-
12	19° dia	24° dia	26° dia	3° dia	5° dia
13	2° dia	3° dia	6° dia	9° dia	10° dia
14	14° dia	15° dia	17° dia	18° dia	24° dia
15	2° dia	3° dia	4° dia	5° dia	7° dia
16	18° dia	19° dia	25° dia	26° dia	28° dia

4.4 Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente elétrica

Os gráficos a seguir mostram a relação da onda-M (μV) com a intensidade da corrente (mA) aplicada em cada um dos voluntários. Os sujeitos de 1 a 8 são do gênero masculino e os sujeitos de 9 a 16 são do gênero feminino.

O sujeito 1 realizou os testes com um intervalo máximo de um dia entre cada sessão, o sujeito 2 com seis dias, o sujeito 3 com dois dias, o sujeito 4 com seis dias, o sujeito 5 com um dia, o sujeito 6 com seis dias, o sujeito 7 com três dias, o sujeito 8 com dois dias, o sujeito 9 com dois dias, o sujeito 10 com nenhum dia de intervalo, o sujeito 11 com três dias, o sujeito 12 com quatro dias, o sujeito 13 com dois dias, o sujeito 14 com seis dias, o sujeito 15 com um dia e o sujeito 16 com cinco dias.

Com relação ao sujeito 4 houve uma variação repentina inexplicada nas sessões 1 e 2, devido a tal fato foi realizado o método de regressão quadrático (pontilhado vermelho para o teste 1 e verde para o teste 2) e cúbico (pontilhado azul para o teste 1 e preto para o teste 2) para simular a linha como se não houvesse tal erro. No sujeito 8 houve a mesma variação no teste 3 e devido a tal fato foi realizado o método de regressão quadrático (pontilhado laranja) e cúbico (pontilhado azul) para simular a linha como se não houvesse tal erro. A mesma variação ocorreu no sujeito 12, na sessão 1 e devido a tal fato foi realizado o método de regressão quadrático (pontilhado laranja) e cúbico (pontilhado azul) para simular a linha como se não houvesse tal erro.

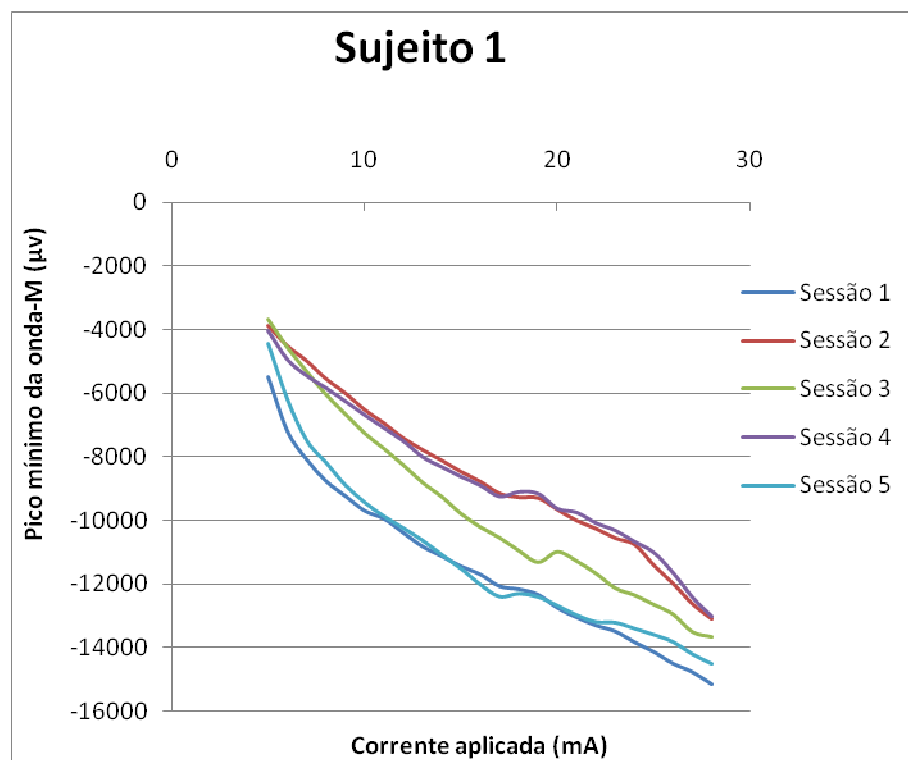


Figura 6 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 1.

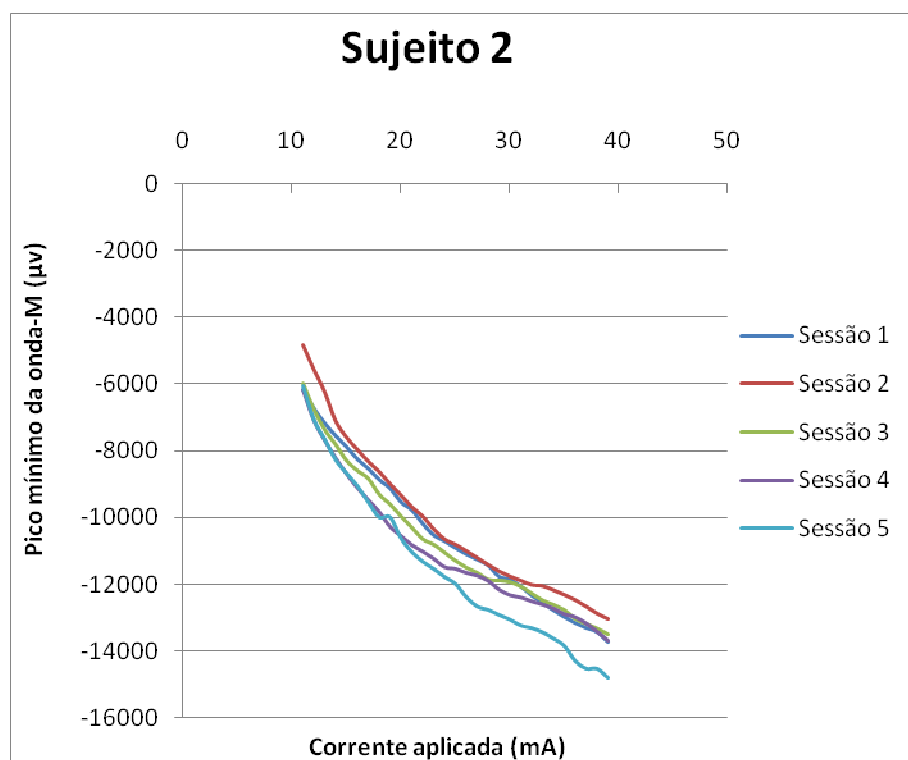


Figura 7 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 2.

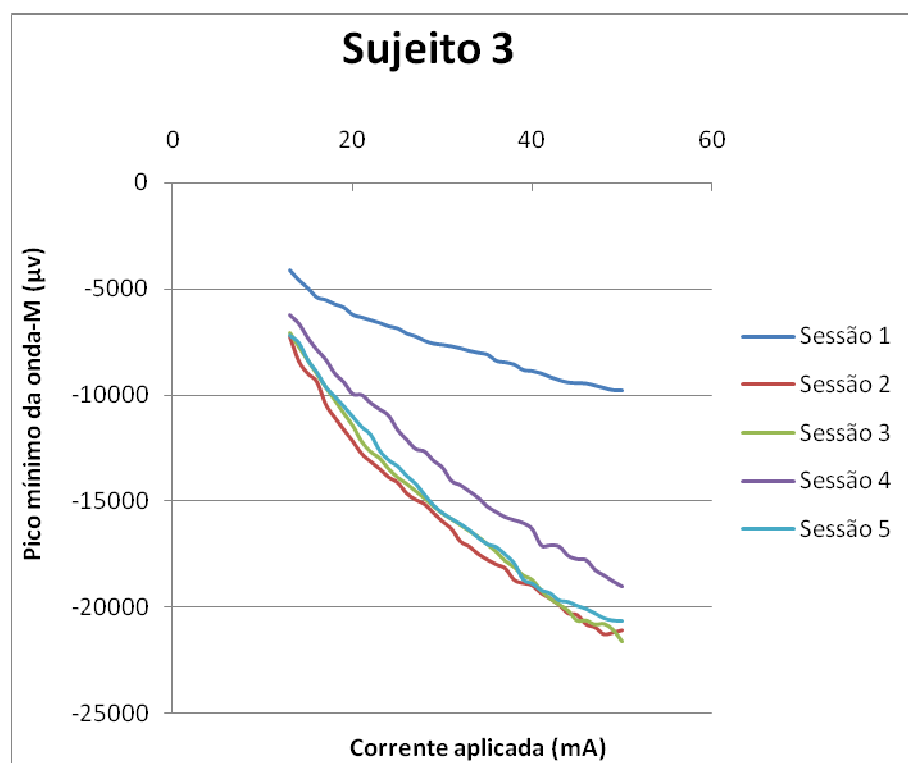


Figura 8 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 3.

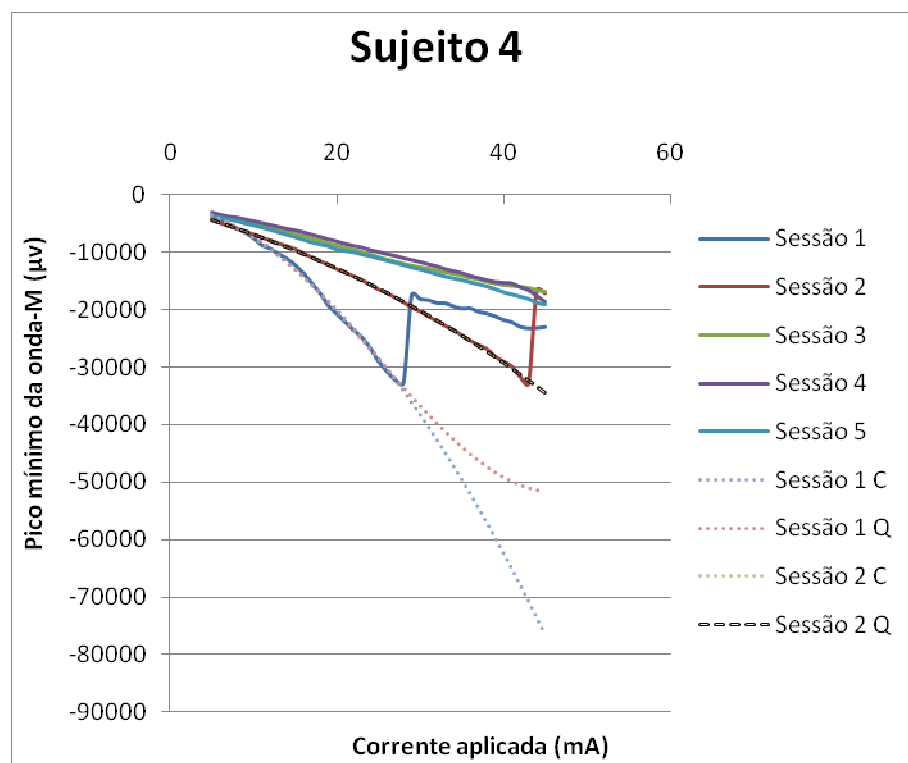


Figura 9 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 4.

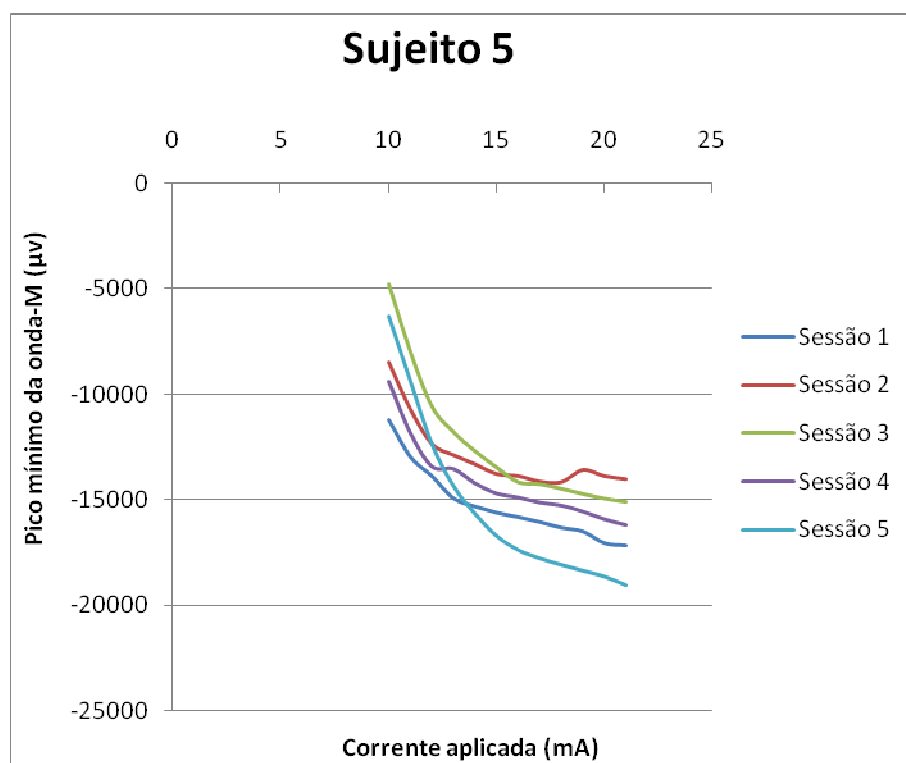


Figura 10 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 5.

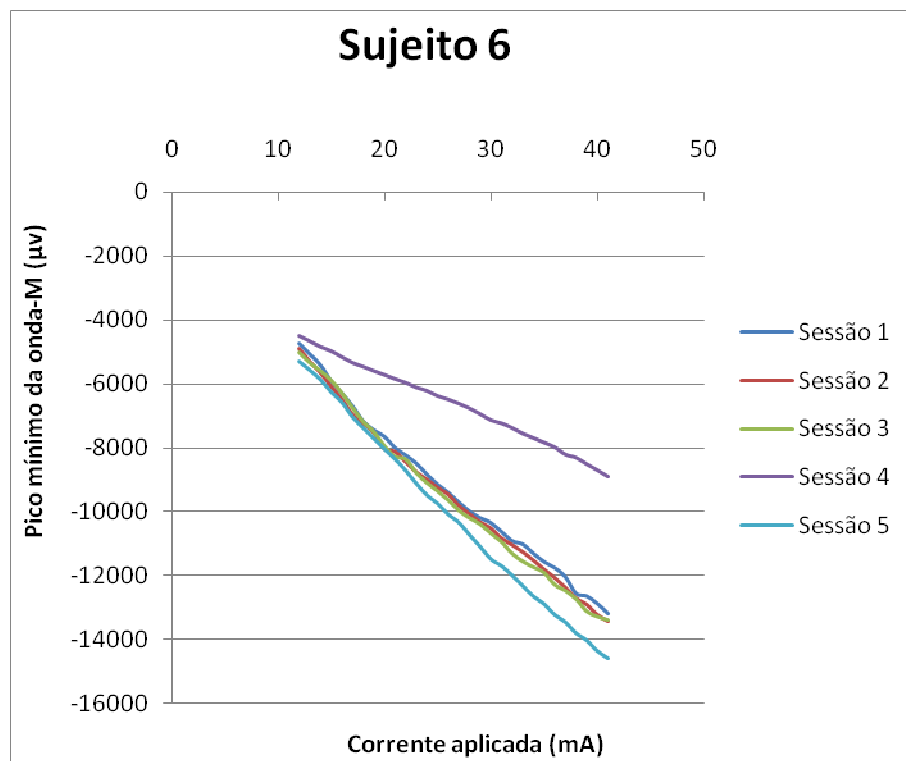


Figura 11 - Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 6.

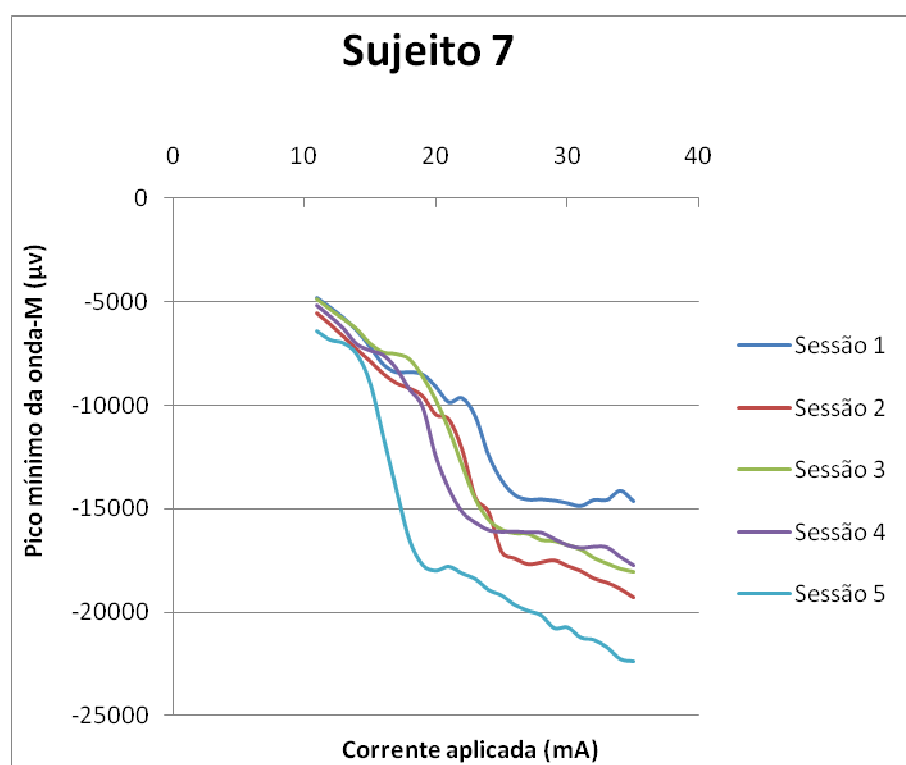


Figura 12 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 7.

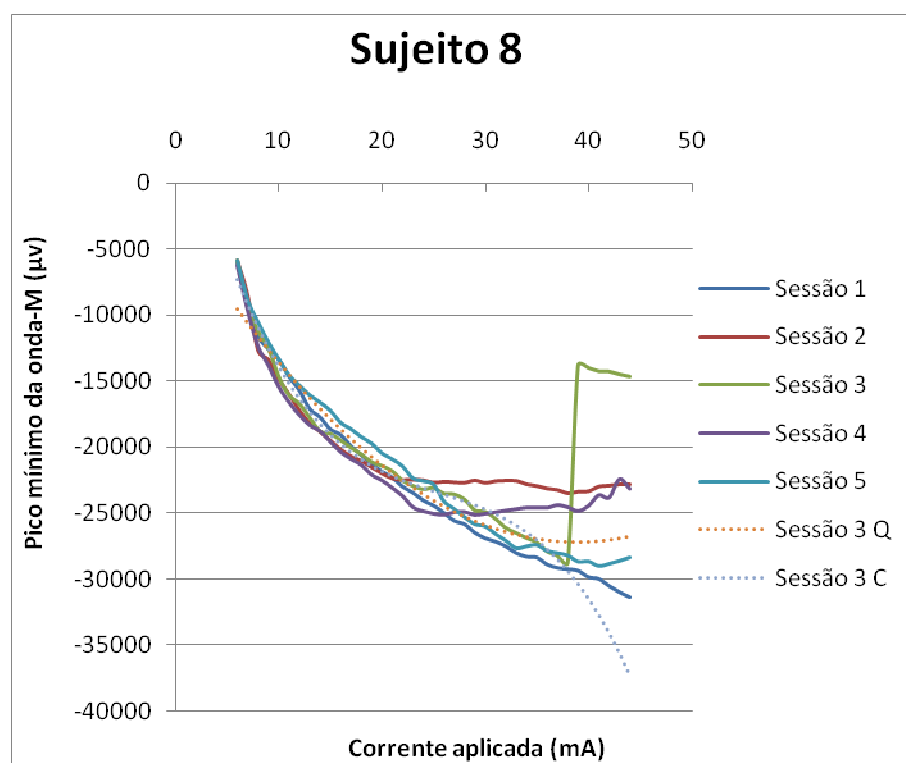


Figura 13 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 8.

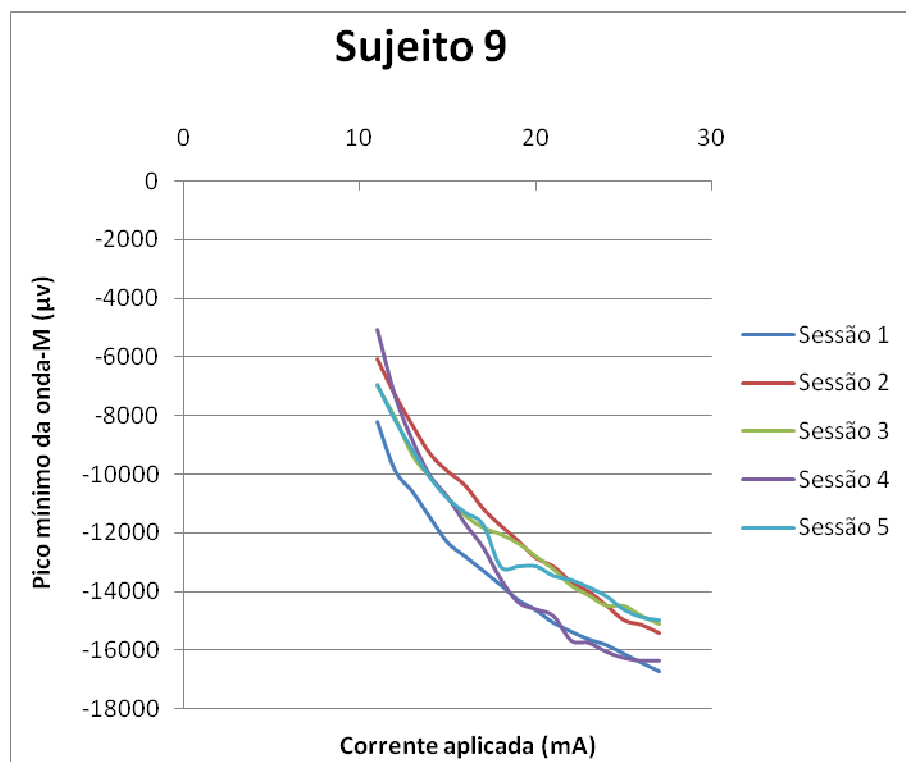


Figura 14 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 9.

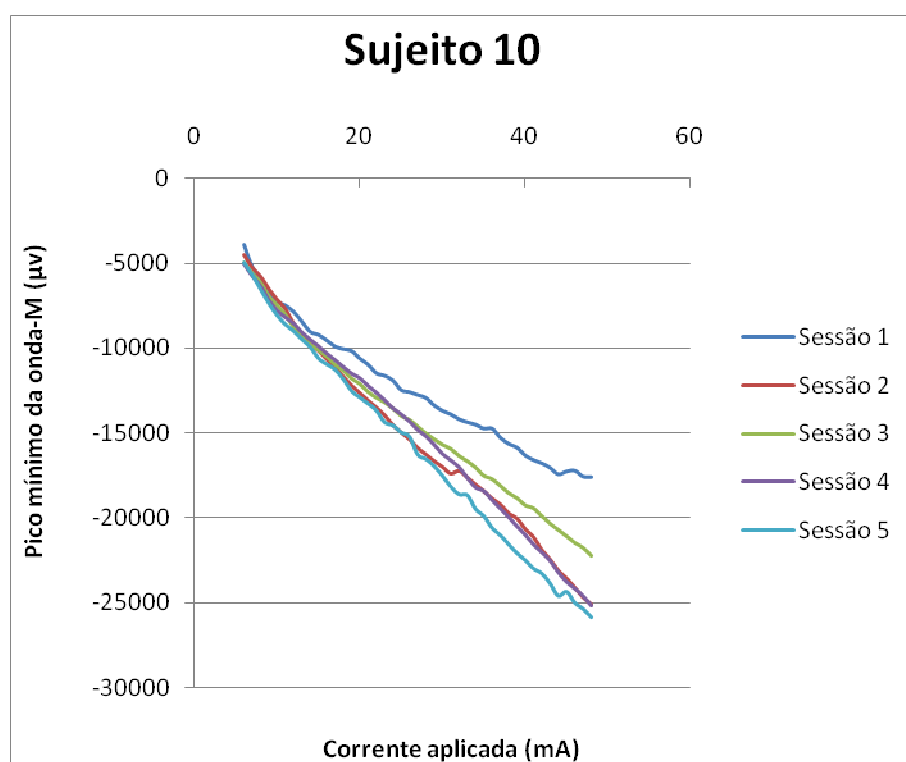


Figura 15 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 10.

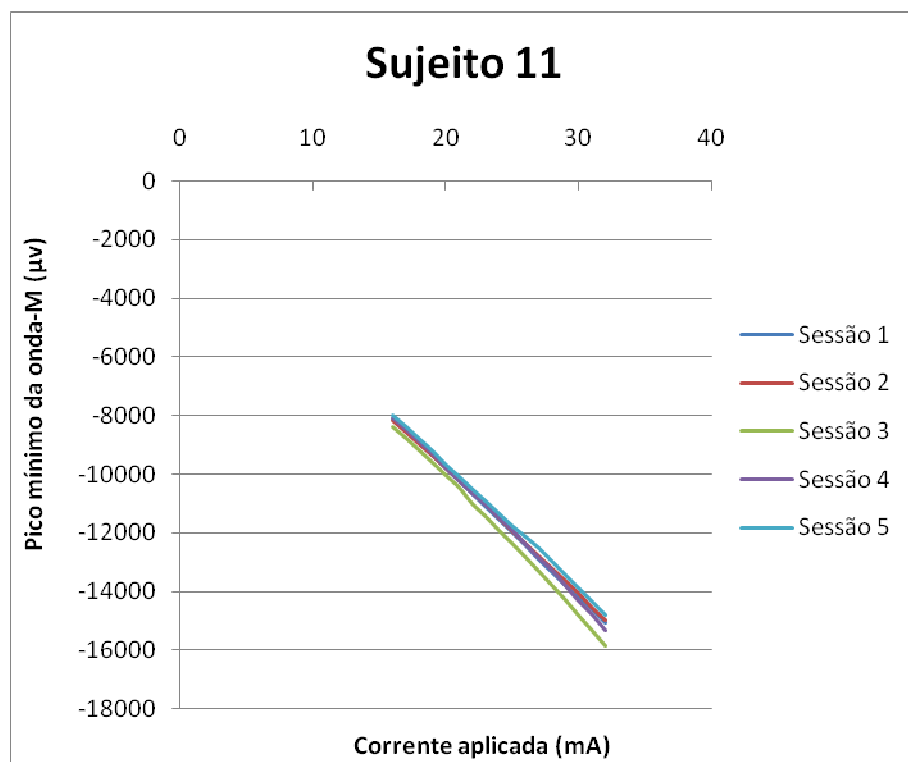


Figura 16 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 11.

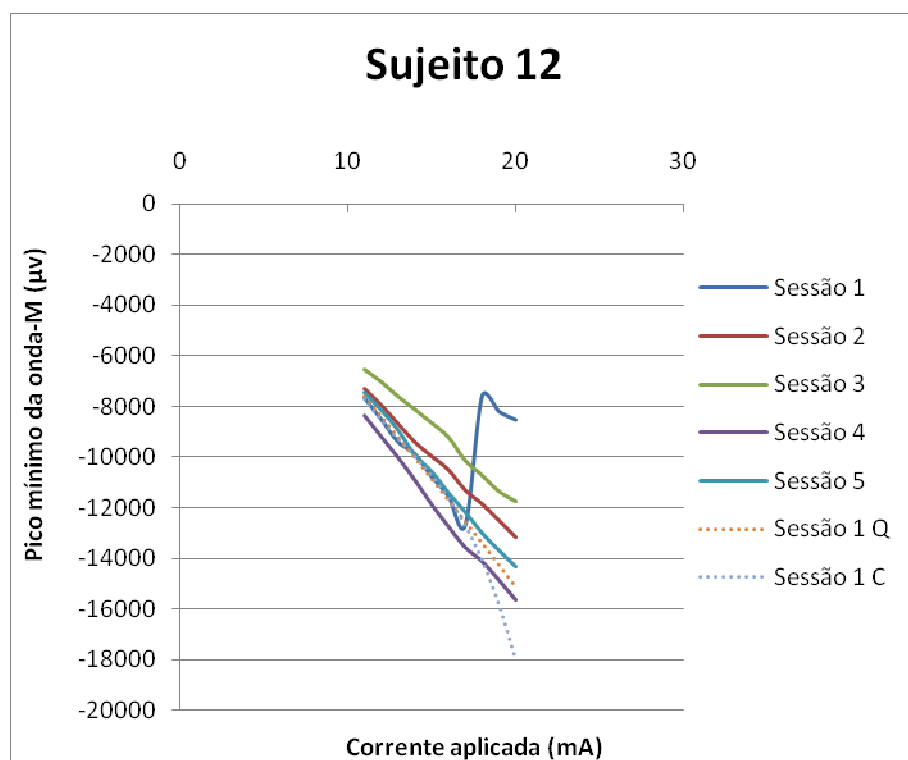


Figura 17 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 12.

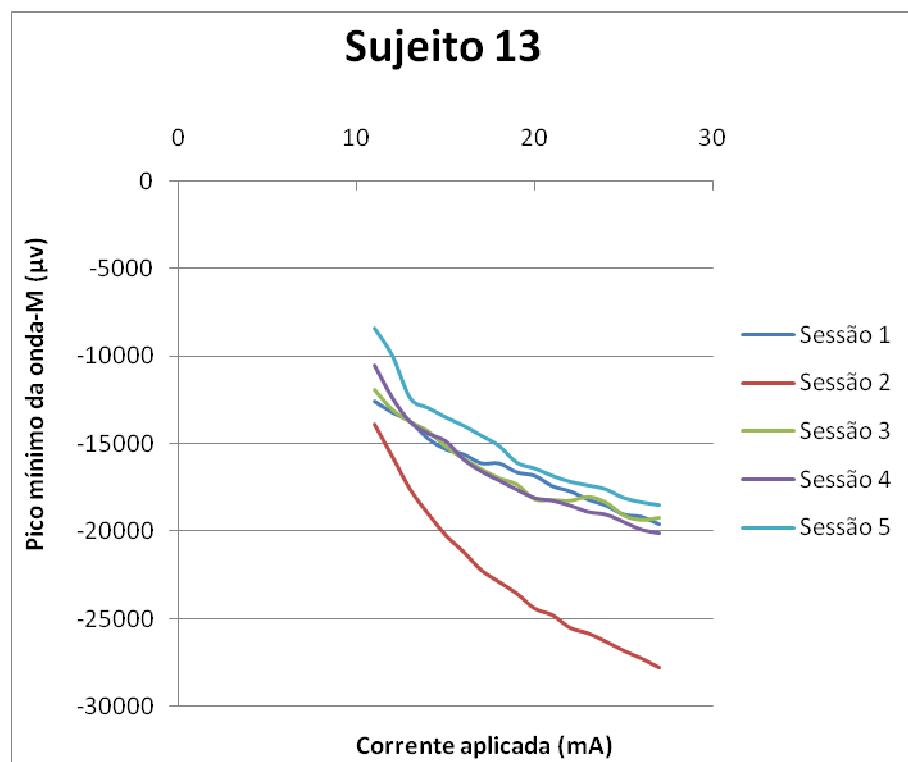


Figura 18 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 13

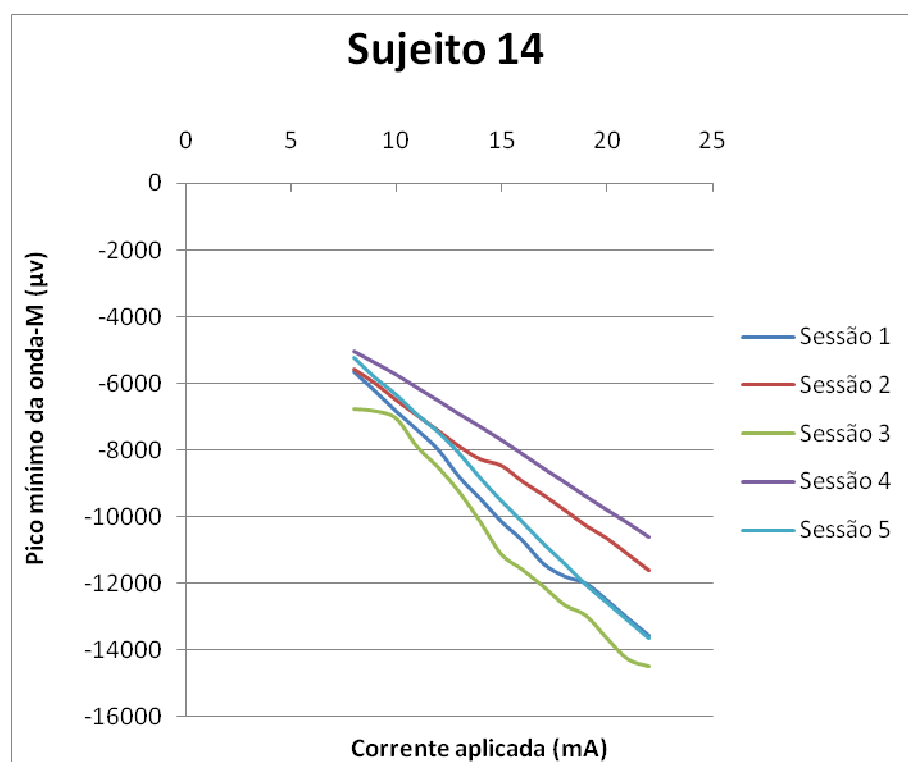


Figura 19 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 13.

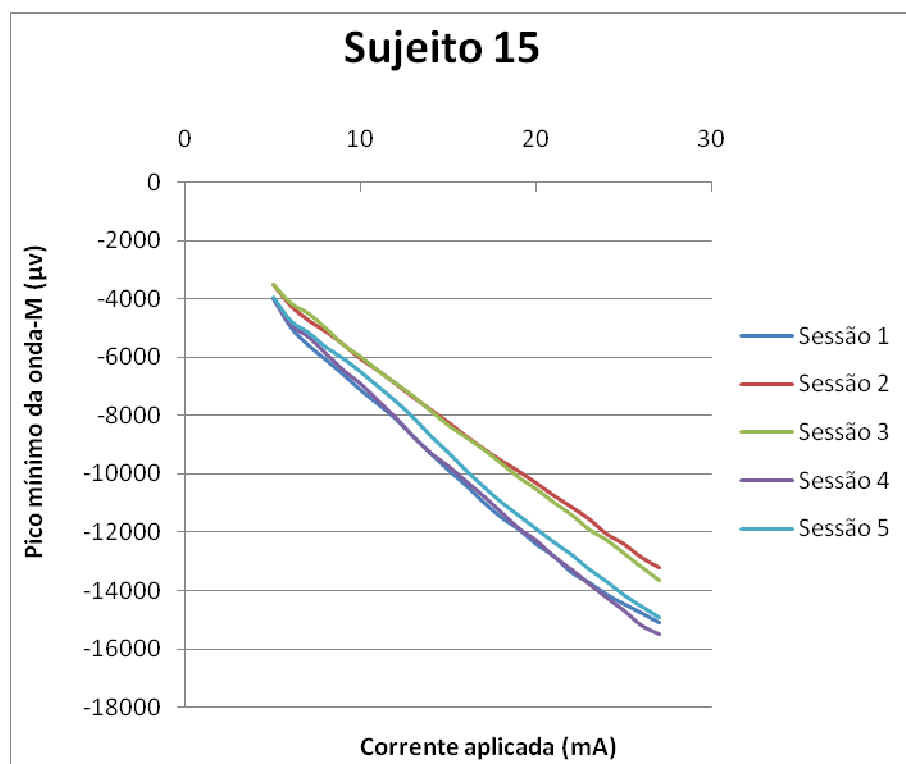


Figura 20 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 15.

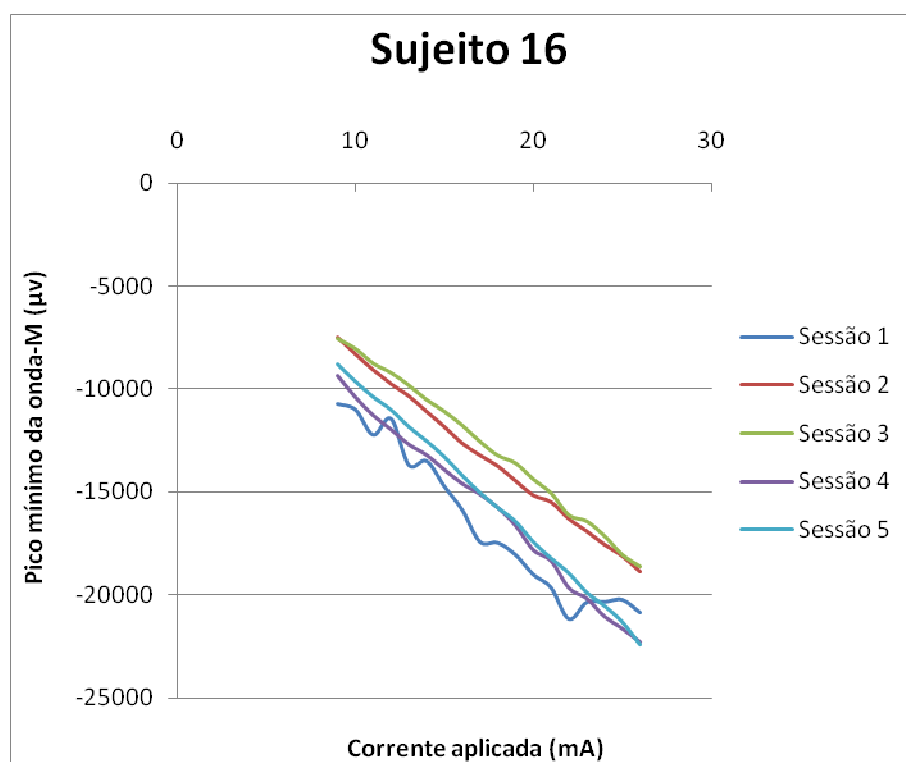


Figura 21 – Relação entre o pico mínimo da onda-M e a corrente aplicada no sujeito 16.

4.5 Importância da marcação do posicionamento dos eletrodos

As figuras abaixo mostram a relação entre o pico mínimo das ondas-M e a corrente elétrica utilizada para a estimulação do músculo sem a utilização da marcação por *henna*. Foi observado que a ausência de marcação foi um fator importante que levou os dados a sofrerem uma grande dispersão quando comparados com os gráficos das sessões em que foram utilizadas a marcação. Atribuiu-se tal dispersão, a além de outros possíveis fatores, a diferenças mínimas no posicionamento dos eletrodos.

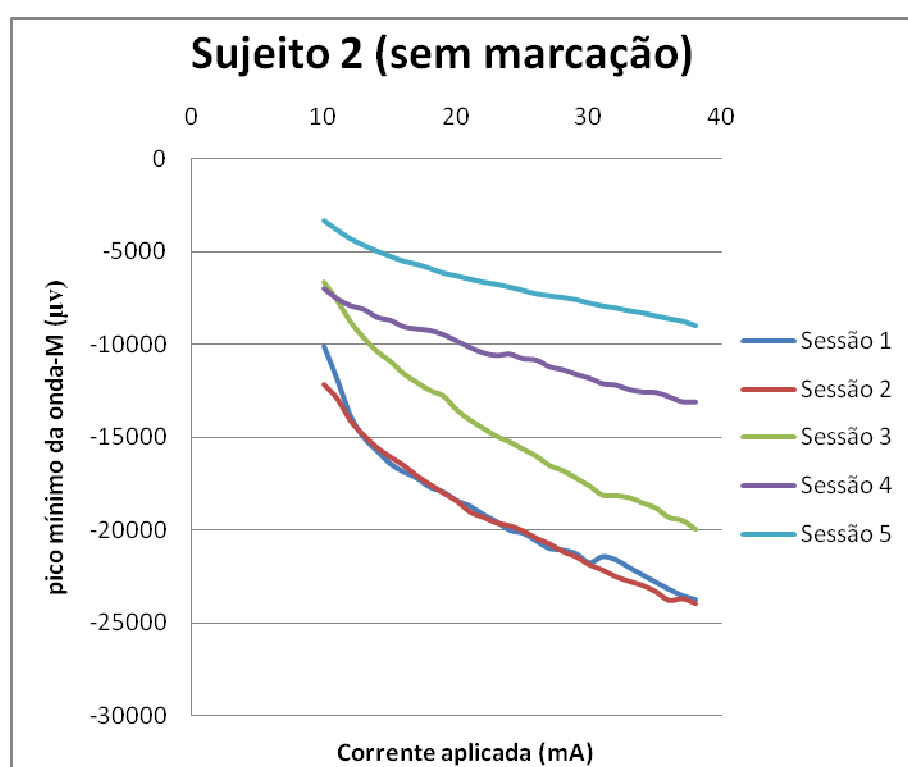


Figura 22 – Resultados obtidos a partir do voluntário 2 sem a marcação da pele, tendo assim os eletrodos posicionados em locais não exatamente iguais nos diferentes testes. Os testes foram realizados com no máximo 7 dias de intervalo. O gráfico mostra uma relação entre o pico mínimo da onda-M (μV) e a corrente aplicada (mA).

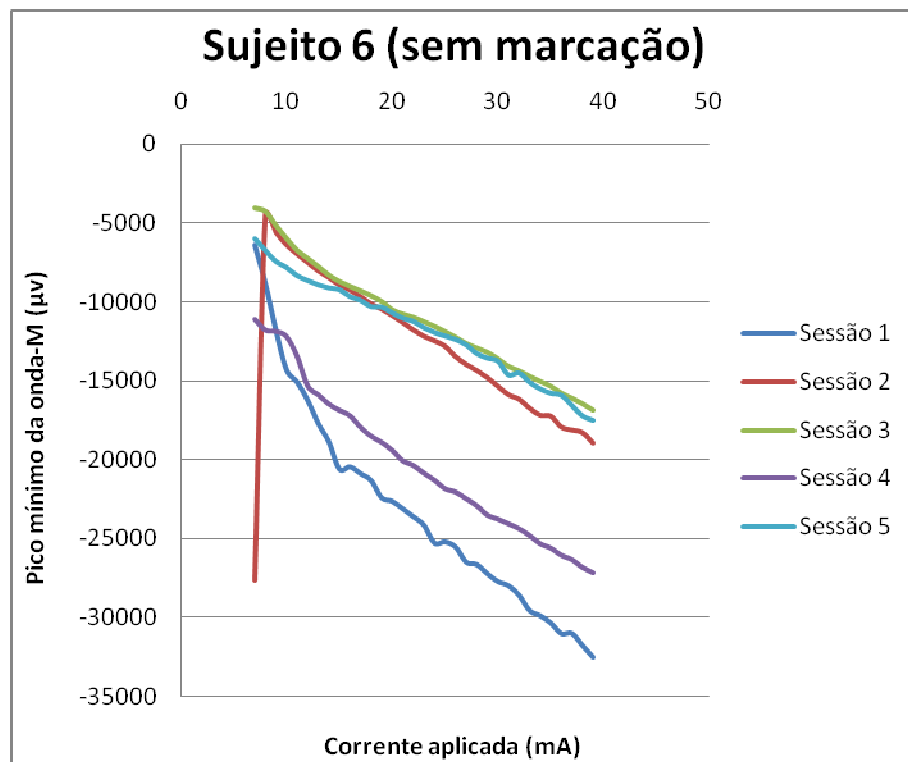


Figura 23 – Resultados obtidos a partir do voluntário 6 sem a marcação da pele, tendo assim os eletrodos posicionados em locais não exatamente iguais nos diferentes testes. Os testes foram realizados com no máximo 10 dias de intervalo. Houve um erro inexplicado no sinal do teste 2. O gráfico mostra uma relação entre o pico mínimo da onda-M (μV) e a corrente aplicada (mA).

4.6 Ondas-M

As figuras abaixo representam as ondas-M extraídas dos voluntários antes e depois do relato da percepção dolorosa.

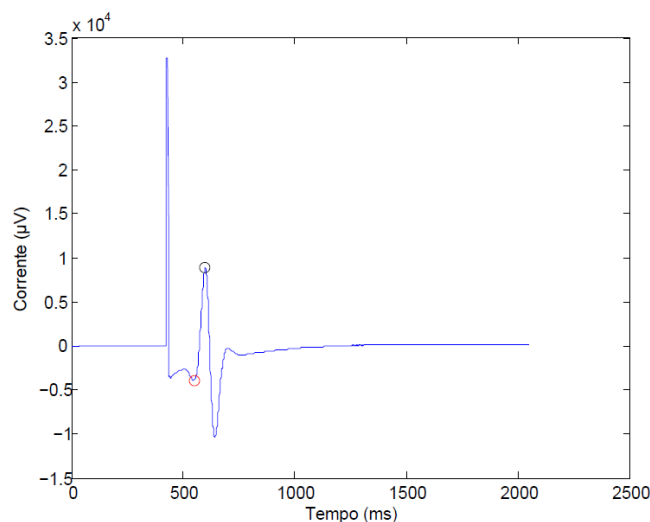


Figura 24 – Representação gráfica da onda-M durante a ausência de dor (EVA = 0) e com a corrente em 5 mA, com o pico superior e inferior da onda-M em destaque.

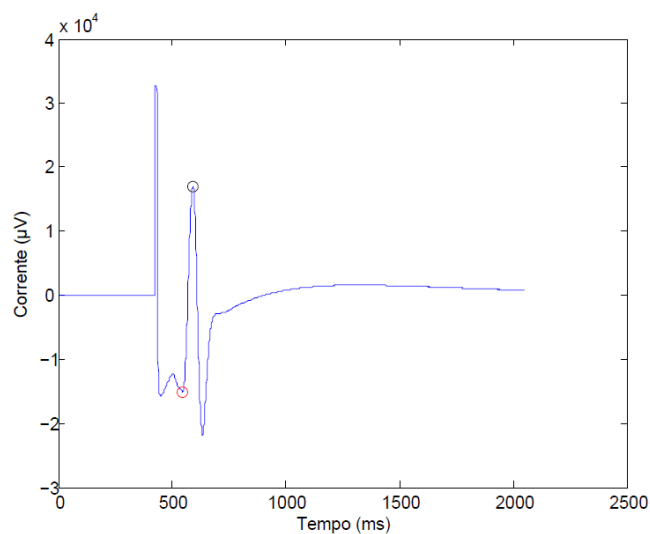


Figura 25 – Representação gráfica da onda-M durante o máximo limite suportável de dor (EVA = 10) e com a corrente em 28 mA, com o pico superior e inferior da onda M em destaque.

4.7 Considerações finais

Os resultados apresentados neste capítulo mostram a coerência e importância desta dissertação, mostrando a viabilidade dos objetivos. Os dados obtidos foram analisados sob diversos aspectos, o que possibilitou que o trabalho fosse muito bem explorado. Tais dados mostram a relevância deste estudo e podem instigar pesquisadores da área a buscarem novas propostas, aprofundando nestes resultados e realizando modificações neste protocolo para a obtenção de novos dados.

Capítulo 5

Discussão

Como foi objetivado, foram analisados o limiar de dor e a tolerância à dor de cada um dos sujeitos da pesquisa, com separação entre homens e mulheres. Foi verificado o dia do ciclo menstrual em que cada uma das mulheres se encontrava durante as sessões realizadas. Também foi realizado um estudo, comparando a diminuição do vale da onda-M com o aumento do valor da corrente aplicada em cada um dos indivíduos.

Este capítulo discute todos os resultados mostrados e detalha os dados presentes nos gráficos e Tabelas do capítulo anterior. Durante cada um dos testes foi registrado pelo pesquisador o que cada um dos voluntários sentiu após cada seção de 20 pulsos. As sensações relatadas variaram de “ausência de dor” até “dor máxima suportada”. Foi observado que todos os voluntários relataram as mesmas sensações à medida que a intensidade da corrente aumentava, porém em intensidades de corrente diferentes. Geralmente, após o início dos testes os voluntários relataram um leve pulsar que aumentava gradativamente, após isso surgia um formigamento que também aumentava gradativamente, até que a dor se tornasse insuportável para o voluntário. O sujeito 3 não atingiu o valor de tolerância à dor em nenhuma das sessões, pois ao se atingir a corrente de 50 mA ele ainda relatava dor de nível 5 e por motivos de segurança os experimentos eram interrompidos. O mesmo ocorreu com o sujeito 4, porém apenas nas sessões 1, 3 e 5 e com o sujeito 10, nas sessões 2, 3, 4 e 5.

Contrariando o estudo de Minetto (Minetto, Botter *et al.*, 2008) que não encontrou nenhuma correlação entre as variações na EVA e na amplitude da corrente de estimulação, o presente estudo mostra que o aumento da corrente aplicada nos sujeitos induziu dor em todos eles, tal sensação aumentava de acordo com o aumento do estímulo elétrico.

Ao se aumentar a intensidade da corrente elétrica durante a eletroestimulação foi claro que a dor surgiu e aumentou até se tornar insuportável pelos voluntários, este parâmetro foi correlacionado com a EVA e acompanhado pela onda-M do músculo estimulado. A relação entre o pico mínimo da onda-M, a EVA e o aumento da corrente foi muito clara e significativa.

5.1 Limiar de dor

A Tabela 1 mostra a representação dos valores do limiar de dor e suas médias, dos sujeitos do gênero masculino em cada um dos testes. Podemos observar que nos voluntários 2, 5, 6, 7 e 8 os valores se mantiveram próximos em todos os testes, com um desvio padrão máximo de 1.6, não havendo grandes variações. Tal fato proporciona maior confiabilidade no método utilizado, pois mostra que mesmo em dias diferentes os sujeitos demonstraram ter a mesma percepção do estímulo recebido e relataram sentir a dor com níveis muito próximos de corrente, senão os mesmos. A Tabela 1 ainda mostra que, na maioria dos sujeitos do gênero masculino, o relato do limiar de dor ocorreu com uma corrente de estímulo menor na primeira sessão com relação às subseqüentes. Isto pode ser explicado pela expectativa da dor esperada pelo sujeito, pois todos eles relataram no final da primeira sessão que a dor percebida foi menor que a dor esperada antes do experimento.

A Tabela 2 mostra as mesmas características da Tabela 1, porém analisa os dados apenas dos sujeitos do gênero feminino. Com relação às mulheres os sujeitos 10, 11, 12 e 15 possuíram um desvio padrão com relação à média do limiar de dor maior que 2. Como ocorreu com os sujeitos do gênero masculino, o relato do limiar de dor na primeira sessão foi com baixas correntes comparado com as outras sessões. Apenas o sujeito 14 relatou a percepção dolorosa em 15 mA na primeira sessão, em 11 mA na segunda, terceira e quarta sessões e em 10 mA na última sessão.

Ao se comparar os homens com as mulheres percebemos que o valor médio do limiar de dor foi maior nos homens, 15.6 e 14.8, respectivamente. Estes resultados concordam com o estudo de Myers (Myers, Robinson *et al.*, 2001), que teve como objetivo examinar mensurações fisiológicas e psicológicas relacionadas ao gênero, em relatórios de dor experimental. O autor citou que em seu estudo as mulheres relataram menores limiares de dor e tolerância à dor. O presente estudo dá suporte à revisão da

literatura feita por Hurley (Hurley e Adams, 2008), que conclui que mais estudos são necessários para a diferenciação da sensação dolorosa entre homens e mulheres.

5.2 Tolerância à dor

As Tabelas 3 e 4 mostram os valores da tolerância à dor entre homens e mulheres, respectivamente.

Ao analisarmos a Tabela 3 podemos perceber que, como no limiar de dor, na primeira sessão os sujeitos (com exceção do sujeito 6) relataram tal limiar com um valor de corrente mais baixo que em todas as outras sessões. O sujeito 3 não pôde ser analisado, pois em todas as sessões ele chegou aos 50 mA de estímulo relatando valores na EVA menores que 10. O mesmo ocorreu com o sujeito 4, mas apenas nas sessões 1, 3 e 5.

A Tabela 4 mostra que com relação às mulheres o valor de corrente necessário para cada uma atingir a dor máxima na primeira sessão não foi maior na primeira sessão que nas demais.

Ao se comparar homens e mulheres percebemos que o valor de corrente necessário para se atingir o valor máximo de dor foi maior nos homens (39.2) com relação às mulheres (32.6). Estes dados também estão de acordo com o trabalho realizado por Myers (Myers, Robinson *et al.*, 2001) e mostra uma significativa diferença com relação à tolerância da dor entre homens e mulheres.

5.3 Ciclo menstrual

A Tabela 5 mostra a fase do ciclo menstrual em que se encontrava cada uma das voluntárias durante cada um dos testes. Foi tido como o primeiro dia do ciclo menstrual o dia em que houve a menstruação. Com exceção da voluntária 3 todas as voluntárias relataram a fase do ciclo em que se encontravam. De acordo com Filho (Filho, Tung *et al.*, 1998) e Allen (Allen, McBride *et al.*, 1991) quando a mulher se encontra no período pré-menstrual ela sente dores abdominais e musculares, devido a isso foi hipotetizado que as voluntárias poderiam estar mais suscetíveis à sensação dolorosa durante este período, porém isso não foi confirmado. Filho (Filho, Tung *et al.*, 1998) cita que o instrumento mais rigorosamente elaborado sobre parâmetros pré-menstruais, o Daily

Symptom Report – DSR, afirma que a pré-menstruação mostra sintomas 6 dias antes da menstruação ocorrer. Portanto temos que as voluntárias 2 (testes 4 e 5), 4 (testes 2 e 3), 6 (teste 5) e 8 (testes 3, 4 e 5) estavam no período de pré-menstruação durante os testes citados. Não foi observada nenhuma diferença significativa ao se comparar os testes realizados durante o período pré-menstrual com relação aos outros períodos do ciclo menstrual das mulheres voluntárias nesta pesquisa.

5.4 Relação entre ondas-M e corrente elétrica

As Figuras de 6 a 21 mostram a relação entre o valor da corrente aplicada (em mA) no eixo das abscissas e o valor do pico mínimo da onda-M (em μV) no eixo das ordenadas. Podemos observar que existe uma correlação linear entre a diminuição do pico mínimo da onda-M com o aumento da intensidade da corrente aplicada nos indivíduos, tanto nos homens como nas mulheres. Em todos os voluntários houve essa relação. Em três voluntários, dois homens (voluntários 4 e 8) e uma mulher (voluntária 8) houve uma variação repentina inexplicada nas linhas comparativas entre a corrente aplicada e o valor do pico mínimo da onda-M, devido a isso foi realizado o método de regressão quadrático e cúbico para simular as linhas como se não houvesse tal erro. Foi observado que o método de regressão cúbico representou melhor as linhas durante o período anterior ao erro ocorrido.

Os resultados foram de acordo com o que foi hipotetizado, mostrando que existe uma correlação linear entre o pico mínimo das ondas-M, e o aumento da corrente, consequentemente com o aumento da dor.

No trabalho de Farina (Farina, Arendt-Nielsen *et al.*, 2005) o estímulo doloroso foi injeção salina hipertônica. Perante tal estímulo não se observou alterações nas ondas-M com relação à velocidade de condução, amplitude e conteúdo espectral. Assim o autor concluiu que a injeção salina não alterou as propriedades da membrana das fibras musculares e que a diminuição da atividade muscular durante as contrações voluntárias foram provavelmente devido a um fenômeno central, espinal ou supra espinal. Com o protocolo de indução dolorosa do presente trabalho foi observado que as ondas-M tiveram suas amplitudes alteradas. Farina (Farina, Arendt-Nielsen *et al.*, 2005) e Merletti (Merletti, Knaflitz *et al.*, 1992) citam que uma mudança na amplitude da onda-M está relacionada a mudanças no pH, na temperatura e no diâmetro das fibras

musculares. O vale da onda-M é justamente o ponto onde existe uma grande alteração na permeabilidade da membrana e a contração das fibras se dá por um rápido influxo dos íons resultante desta alteração de permeabilidade. Esta contração está intimamente ligada com a percepção dolorosa, que é o foco do estudo. Tal fator expõe claramente a correlação entre o pico mínimo desta onda e a corrente elétrica estimulante.

5.5 Marcação da pele

Inicialmente os sujeitos 2 e 6 realizaram todos os testes, porém não foi aplicada a tinta de *henna* nos respectivos pés, isso acarretou em gráficos com grandes diferenças ao se comparar o valor da corrente aplicada e o pico mínimo da onda-M durante os cinco dias de testes (Figuras 22 e 23). Após a verificação dessa diferença nos gráficos foi constatada a possibilidade de tal fato ocorrer devido à diferença do local de aplicação dos eletrodos durante os diferentes dias de testes. Devido a isso, para minimizar as variáveis, todos os voluntários, inclusive os dois supracitados, realizaram os cinco dias de testes com uma aplicação de tinta de *henna* aplicada no primeiro dia que durou até o quinto teste. Assim foi assegurado que o posicionamento dos eletrodos nos voluntários foi feito no mesmo local em todos os dias de teste.

Mesmo com as linhas dos gráficos posicionadas em locais distantes dentro do gráfico foi observada que elas seguiram a mesma tendência, porém percebemos que com a utilização de marcadores para se ter a certeza que os eletrodos seriam posicionados nos mesmos locais em todos os testes estas linhas poderiam estar mais próximas, validando ainda mais os dados e por consequência o estudo.

5.6 Ondas-M

As Figuras 24 e 25 mostram ondas-M extraídas a partir do sujeito 1, na primeira sessão. A Figura 24 representa a primeira onda-M detectada, isso ocorreu com uma corrente de estímulo de 5 mA e o relato de dor 0 na EVA. A Figura 25 representa a última onda-M extraída do sujeito naquela sessão, isso se deu com 28 mA de corrente de estímulo e relato de dor 10 na EVA. Ao se comparar as duas Figuras pode-se verificar visualmente uma grande diferença na amplitude das mesmas, porém apenas

com a utilização do programa Excel foi possível perceber que apenas o pico mínimo da onda acompanhou linearmente o aumento da corrente elétrica.

Após a aplicação de cada série de pulsos com cada corrente foi registrado pelo pesquisador o relato verbal da EVA e de quaisquer outras sensações percebidas pelo sujeito notou-se que mesmo antes do relato de surgimento da dor os sujeitos relataram um leve pulsar que aumentava gradativamente e o surgimento de um formigamento. Foi observado também que a maioria dos voluntários se mantiveram na dor 9 durante várias correntes de estímulo, de acordo com eles isso ocorreu devido a dor ser muito grande (tendendo a 10), porém (como o incremento era muito bem controlado) eles tinham a consciência que conseguiriam suportar um estímulo mais intenso.

Foi interessante observar que, mesmo sem a influência do pesquisador todos os sujeitos relataram as mesmas palavras referentes às sensações percebidas no momento.

5.7 Conclusões

Muitos trabalhos vêm ao longo do tempo tentando correlacionar diferentes fatores com a dor, com a finalidade de encontrarem um meio de se quantificar esta sensação. A utilização de biopotenciais pode auxiliar em muito esta tarefa, pois são processos que não são sensíveis a alterações pessoais, como experiências passadas, estado de humor do dia. Tais alterações podem comprometer estudos que avaliam a dor apenas por meio de escalas subjetivas.

Neste estudo a onda-M foi selecionada, pois é um potencial evocado que está livre destas alterações pessoais, podendo assim utilizar parâmetros fisiológicos para se mensurar a dor. Desta forma o objetivo principal desta dissertação é utilizar um parâmetro da onda-M para se quantificar a dor sentida pelos sujeitos.

Com o protocolo utilizado foi verificado que o parâmetro da onda-M que possui maior correlação com o estímulo utilizado é seu pico inferior, ou vale. Portanto o presente estudo correlacionou o vale da onda-M com o estímulo elétrico indutor da dor. Em todos os voluntários tal correlação se mostrou muito coerente, indicando que o caminho seguido foi correto.

O trabalho também pode verificar que as mulheres mostraram um limiar de dor menor com relação aos homens e a tolerância à dor das mulheres também foi menor, evidenciando uma maior sensibilidade à dor por parte dos sujeitos do gênero feminino.

Uma das principais contribuições do presente trabalho foi a criação e a validação de um novo protocolo para a indução dolorosa. Outra grande contribuição foi encontrar um importante parâmetro da onda-M que pode ser relacionado com a dor. Mostrar as diferenças com relação à percepção dolorosas entre homens e mulheres também foi um aspecto muito importante deste trabalho que deve ser levado em consideração.

5.8 Trabalhos futuros

Diversos trabalhos futuros podem ser realizados a partir deste, incluindo:

- Análise dos mesmos parâmetros, porém com uma quantidade maior de voluntários;
- Análise das ondas-H com a utilização do mesmo protocolo;
- Comparação destes resultados com os de testes realizados em outros músculos do corpo humano;
- Maior exploração de outros parâmetros das ondas-M;
- Comparação das ondas-M entre pessoas com dores crônicas e outras sem dores.

REFERÊNCIAS

- AHLERS, S. J. G. M. et al. Comparison of different pain scoring systems in critically ill patients in a general ICU. **Critical Care**, v. 12, n. 1, p. R15, 2008.
- AL'ABSI, M. et al. Sex differences in pain and hypothalamic-pituitary-Adrenocortical Responses to Opioid Blockade. **Psychosomatic Medicine**, v. 66, n. 2, p. 198-206, 2004.
- ALLEN, S. S.; MCBRIDE, C. M.; PIRIE, P. L. The shortened premenstrual assessment form. **Journal of Reproductive Medicine**, v. 36, n. 11, p. 769-772, 1991.
- AMADIO, A. C. **Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento**. Laboratório de biomecânica/EEFUSP, 1996. 162
- AVERBUCH, M.; KATZPER, M. Baseline pain and response to analgesic medications in the post surgery dental pain model. **The journal of clinical pharmacology**, v. 40, p. 133-137, 2000.
- AVILA, M. A.; BRASILEIRO, J. S. Electrical stimulation and isokinetic training: effects on strength and neuromuscular properties of healthy young adults. **Revista brasileira de fisioterapia**, v. 12, n. 6, p. 435-440, 2008.
- AYESH, E. E.; JENSEN, S.; SVENSSON, P. Hypersensitivity to Mechanical and Intra-articular Electrical Stimuli in Persons with Painful Temporomandibular Joints. **Journal of Dental Research** v. 86, n. 12, p. 1187-1192, 2007.
- BARATTA, R. et al. Orderly stimulation of skeletal muscle motor units with tripolar nerve cuff electrode. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 36, n. 8, p. 836-843, 1989.
- BARCROFT, H.; MILLEN, J. L. E. The blood flow through muscle during sustained contraction. **Journal of Physiology**, v. 97, p. 17-31, 1939.
- BARR, O. O.; NIELSEN, D. H.; SODERBERG, G. L. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Characteristics for Altering Pain Perception. **Physical therapy**, v. 66, n. 10, p. 1515-1521, 1986.
- BASMAJIAN, J. V.; LUCA, C. J. D. **Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography**. 5. Baltimore, MD:Williams & Wilkins, 1985.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências, desvendando o sistema nervoso**. 2. Artmed, 2002.
- BOTTEGA, F. H.; FONTANA, R. T. A dor como o quinto sinal vital: utilização da escala de avaliação por enfermeiros de um hospital geral. **Texto & Contexto Enfermagem**, v. 19, n. 2, p. 283-290, 2010.

- CALDER, K. M. et al. Reliability of the biceps brachii M-wave. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.**, v. 2, p. 33-40, 2005.
- CANDOTTI, C. T. et al. Electromyography for Assessment of Pain in Low Back Muscles. **Physical Therapy**, v. 88, n. 9, p. 1061-1067, 2008.
- CHAN, C. W. Y.; DALLAIRE, M. Subjective pain sensation is linearly correlated with the flexion reflex in man. **Brain Research**, v. 479, n. 1, p. 145-150, 1989.
- CHAPMAN, C. R. et al. Pain measurement: an overview. **Pain**, v. 22, n. 1, p. 1-31, 1985.
- CHESTERTON, L. S. et al. Sensory stimulation (TENS): effects of parameter manipulation on mechanical pain thresholds in healthy human subjects. . **Pain**, v. 99, p. 253-262, 2002.
- CUPIDO, C. M.; GALEAT, V.; MCCOMAS, A. J. Potentiation and depression of the M wave in human biceps brachii. **Journal of Physiology**, v. 491, n. 2, p. 541-550, 1996.
- ENOKA, R. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. São Paulo: Manole, 2000.
- ERVILHA, U. F. et al. The effect of muscle pain on elbow flexion and coactivation tasks. **Experimental brain research**, v. 156, p. 174-182, 2004.
- FARINA, D.; ARENDT-NIELSEN, L.; GRAVEN-NIELSEN, T. Experimental muscle pain decreases voluntary EMG activity but does not affect the muscle potencial evoked by transcutaneous electrical stimulation. **Clinical Neurophysiology**, v. 116, p. 1558-1565, 2005.
- FARINA, D. et al. M-wave properties during progressive motor unit activation by transcutaneous stimulation. **Journal of Applied Physiology**, v. 97, p. 545-555, 2004.
- FEINE, J. S. et al. Sex differences in the perception of noxious heat stimuli. **Pain**, v. 44, n. 3, p. 255-262, 1991.
- FILHO, A. H. G. V.; TUNG, T. C.; ARTES, R. Escalas de avaliação de transtorno pré-menstrual. **Revista de Psiquiatria Clínica**, v. 25, n. 5, p. 273-278, 1998.
- GIESBRECHT, R. J. S.; BATTIE, M. C. A comparison of pressure pain detection thresholds in people with chronic low back pain and volunteers without pain. **Physical Therapy**, v. 85, n. 10, p. 1085-1092, 2005.
- GRACELY, R. H. Pain measurement. **Acta anaesthesiologica Scandinava**, v. 43, n. 9, p. 897-908, 1999.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 10. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

- HURLEY, R. W.; ADAMS, M. C. B. Sex, Gender, and Pain: An Overview of a Complex Field. **Pain Mechanisms**, v. 107, n. 1, p. 309-317, 2008.
- ISHITANI, N. et al. Changes in eletroencephalographic activities following pressure stimulation in humans. **Psychiatry and clinical neurosciences**, v. 59, p. 644-651, 2005.
- JENSEN, I. B.; BRADLEY, L. A.; LINTON, S. J. Validation of an observation method of pain assessment in non-chronic back pain. **Pain**, v. 39, n. 3, p. 267-274, 1989.
- KANE, R. L. et al. Visual analog scale pain reporing was standardized. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 58, p. 618-623, 2005.
- KERN, S. E. et al. Opioid–Hypnotic Synergy: A Response Surface Analysis of Propofol–Remifentanil Pharmacodynamic Interaction in Volunteers. **Anesthesiology**, v. 100, n. 6, p. 1373-1381, 2004.
- KINSER, A. M.; SANDS, W. A.; STONE, M. H. Reliability and validity of a pressure algometer. **Journal of strength and conditioning research**, v. 23, n. 1, p. 312-314, 2009.
- KONRAD, P. **The ABC of EMG: a pratical introduction to kinesiological electromyography**. 2005.
- KRELING, M. C. G. D.; CRUZ, D. D. A. L. M. D.; PIMENTA, C. A. D. M. Prevalência de dor crônica em adultos trabalhadores. **Revista brasileira de enfermagem**, v. 59, n. 4, p. 509-513, 2006.
- LEÃO, E. R.; SILVA, M. J. P. Música e dor crônica musculoesquelética: o potencial evocativo de imagens mentais. **Revista latino americana de enfermagem**, v. 12, p. 1-8, 2004.
- LEE, J. S. Pain measurement: Understanding existing tools and their application in the emergency department. **Emergency Medicine**, v. 13, n. 3, p. 279-287, 2001.
- LEGRAIN, V. Where is my pain? **Pain**, v. 152, n. 3, p. 467-468, 2011.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência**. 2005.
- LIEBANO, R. E.; ALVES, L. M. Comparação do índice de desconforto sensorial durante a estimulação elétrica neuromuscular com correntes excitomotoras de baixa e média frequência em mulheres saudáveis. **Revista brasileira de meidcina do esporte**, v. 15, n. 1, p. 50-53, 2009.
- LUI, F. et al. Touch or pain? Spatio-temporal patterns of cortical fMRI activity following brief mechanical stimuli. **Pain**, v. 138, n. 2, p. 362-374, 2008.
- MACHADO, A., B., M. **Neuroanatomia Funcional**. 2ª. 2000.

MELZACK, R.; WALL, P. D. Pain mechanisms: a new theory. **Science**, v. 150, p. 971-979, 1965.

MERLETTI, R.; CONTEB, L. R. L.; SATHYANA, D. Repeatability of Electrically-evoked Myoelectric Signals in the Human Tibialis Anterior Muscle. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 5, n. 2, p. 67-80, 1995.

MERLETTI, R.; KNAFLITZ, M.; DELUCA, C. J. Electrically Evoked Myoelectric Signals. **Critical Reviews in Biomedical Engineering**, v. 19, n. 4, p. 293-340, 1992.

MEYR, A. J.; STEINBERG, J. S. The Physiology of the Acute Pain Pathway. **Clinics in podiatric midicine and surgery**, v. 25, p. 305-326, 2008.

MINETTO, M. A. et al. Reliability of a novel neurostimulation method to study involuntary muscle phenomena. **Muscle Nerve**, v. 37, n. 1, p. 90-100, 2008.

MOTL, R. W.; KNOWLES, B. D.; O'CONNOR, P. J. Examination of pain ratings associated with elicitation of the maximal h-wave and maximal m-wave in the soleus and flexor carpi radialis muscles. **Intern. J. Neuroscience**, v. 113, n. 11, p. 1477-1486, 2003.

MYERS, C. D. et al. Sex, gender, and blood pressure: contributions to experimental pain report. **Psychosomatic Medicine**, v. 63, p. 545-550, 2001.

NEGRI, B. ATO Portaria n.º 19/GM. 2002. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2002/Gm/GM-19.htm>. Acesso em: 20/01/2011.

NIELSEN, C. S.; STAUD, R.; PRICEZ, D. D. Individual Differences in Pain Sensitivity: Measurement, Causation, and Consequences. **The Journal of Pain**, v. 10, n. 3, p. 231-237, 2009.

PIOVESAN, E. J. et al. Utilização da algometria de pressão na determinação dos limiares de percepção dolorosa trigeminal em voluntários sadios. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 59, n. 1, p. 92-96, 2001.

POSSO, M. B. S. **Semiologia e Semiotécnica de Enfermagem**. 1. São Paulo: Atheneu, 2004.

ROBINSON, M. E.; WISE, E. A. Gender bias in the observation of experimental pain. **Pain**, v. 104, n. 1-2, p. 259-264, 2003.

SIQUEIRA, J. T. T. D.; TEIXEIRA, M. J. **Dor orofacial: diagnóstico, terapêutica e qualidade de vida**. 1. Curitiba: Maio, 2001.

SOLOMON, J. et al. The effects of TENS, heat, and cold on the pain thresholds induced by mechanical pressure in healthy volunteers. **Neuromodulation**, v. 6, n. 2, p. 102-107, 2003.

SOUSA, F. A. E. F. Dor: o quinto sinal vital. **Revista latino americana de enfermagem**, v. 10, n. 3, p. 446-447, 2002.

SVENSSON, P. et al. Cerebral Processing of Acute Skin and Muscle Pain in Humans. **Journal of neurophysiology**, v. 78, p. 450-460, 1997.

VYSKOCIL, F. et al. The measurement of K^+ concentration changes in human muscles during volitional contraction. **Pflügers Archives**, v. 399, p. 235-237, 1983.

WALDMAN, S. D. **Pain Review**. Saunders elsevier, 2009.

WEISS, L.; SILVER, J. K.; WEISS, J. **Easy EMG**. Elsevier, 2004.

ANEXO I



Universidade Federal de Uberlândia
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP
 Avenida João Naves de Ávila, nº. 2160 - Bloco J - Campus Santa Mônica - Uberlândia-MG -
 CEP 38400-089 - FONE/FAX (34) 3239-4131
 e-mail: cep@propp.ufu.br; www.comitacoes.propp.ufu.br

**ANÁLISE FINAL Nº. 150/09 DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA PARA O PROTOCOLO
 REGISTRO CEP/UFU 036/09**

Projeto Pesquisa: Análise quantitativa da dor por meio do estudo de biopotenciais.

Pesquisador Responsável: Adriano de Oliveira Andrade

De acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 196/96, o CEP manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

O protocolo não apresenta problemas de ética nas condutas de pesquisa com seres humanos, nos limites da redação e da metodologia apresentadas.

O CEP/UFU lembra que:

a- segundo a Resolução 196/96, o pesquisador deverá arquivar por 5 anos o relatório da pesquisa e os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, assinados pelo sujeito de pesquisa.

b- poderá, por escolha aleatória, visitar o pesquisador para conferência do relatório e documentação pertinente ao projeto.

c- a aprovação do protocolo de pesquisa pelo CEP/UFU dá-se em decorrência do atendimento a Resolução 196/96/CNS, não implicando na qualidade científica do mesmo.

Data para entrega de relatório parcial: dezembro de 2009.

Data para entrega de relatório parcial: dezembro de 2010.

Data para entrega de relatório final: dezembro de 2011.

SITUAÇÃO: PROTOCOLO DE PESQUISA APROVADO.

O CEP/UFU LEMBRA QUE QUALQUER MUDANÇA NO PROTOCOLO DEVE SER INFORMADA IMEDIATAMENTE AO CEP PARA FINS DE ANÁLISE E APROVAÇÃO DA MESMA.

Uberlândia, 08 de maio de 09

Profa. Dra. Sandra Terezinha de Farias Furtado
 Coordenadora do CEP/UFU

Orientações ao pesquisador

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 - item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS item III.3.x), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade do regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS item V.4). É papel de o pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA - junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II aprovados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res.251/97, item III.2.a). O prazo para entrega de relatório é de 120 dias após o término da execução prevista no cronograma do projeto, conforme norma.

ANEXO II



Universidade Federal de Uberlândia
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP
Avenida João Naves de Ávila, nº. 2160 – Bloco A – Sala 224 - Campus Santa Mônica - Uberlândia-MG –
CEP 38400-089 - FONE/FAX (34) 3239-4131; e-mail: cep@propp.ufu.br; www.comissoes.propp.ufu.br

ANÁLISE FINAL Nº.060/11 DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA PARA O PROTOCOLO REGISTRO CEP/UFU
036/09

Projeto Pesquisa: Análise Quantitativa da Dor por meio do Estudo de Biopotenciais.

Pesquisador Responsável: Adriano de Oliveira Andrade

De acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 196/96, o CEP manifesta-se pela aprovação do adendo do protocolo de pesquisa proposto.
O adendo do protocolo não apresenta problemas de ética nas condutas de pesquisa com seres humanos, nos limites da redação e da metodologia apresentadas.

O CEP/UFU lembra que:

- a- segundo a Resolução 196/96, o pesquisador deverá arquivar por 5 anos o relatório da pesquisa e os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, assinados pelo sujeito de pesquisa.
- b- poderá, por escolha aleatória, visitar o pesquisador para conferência do relatório e documentação pertinente ao projeto.
- c- a aprovação do protocolo de pesquisa pelo CEP/UFU dá-se em decorrência do atendimento a Resolução 196/96/CNS, não implicando na qualidade científica do mesmo.

SITUAÇÃO: ADENDO APROVADO.

OBS: O CEP/UFU LEMBRA QUE QUALQUER MUDANÇA NO PROTOCOLO DEVE SER INFORMADA IMEDIATAMENTE AO CEP PARA FINS DE ANÁLISE E APROVAÇÃO DA MESMA.

Uberlândia, 18 de fevereiro de 2011.

Profa. Dra. Sandra Terezinha de Farias Furtado
Coordenadora do CEP/UFU

ANEXO III

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

ANÁLISE QUANTITATIVA DA DOR POR MEIO DO ESTUDO DE BIOPOTENCIAIS

Responsáveis: Alessandro Ribeiro de Pádua Machado (Mestrando em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia)

Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade (Orientador)

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira (Co-orientador)

Você está sendo convidado para participar do estudo “*ANÁLISE QUANTITATIVA DA DOR POR MEIO DO ESTUDO DE BIOPOTENCIAIS*”. Os avanços na ciência ocorrem através de estudos como este, por isso sua participação é importante. O objetivo deste estudo é desenvolver escalas objetivas para a quantificação da dor por meio da análise de biopotenciais (sinais biológicos medidos de maneira não-invasiva sobre a superfície do corpo, como eletrocardiografia, eletroencefalografia e eletromiografia).

Anteriormente, você será submetido a uma avaliação física para verificar se há algum comprometimento neurológico ou muscular que prejudique a sensação tátil e dolorosa. Durante a coleta de dados, você ficará posicionado em uma cadeira confortável com suas pernas estendidas. No seu pé dominante serão colocados eletrodos de eletroestimulação e de eletromiografia. Nenhum destes procedimentos será invasivo e todos os dados serão coletados a partir de eletrodos posicionados sobre a sua pele. Não será feito nenhum procedimento que traga risco a sua vida, mas você poderá ter algum desconforto devido à eletroestimulação, que causará dor na superfície do seu pé.

Você poderá não participar da pesquisa ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar assumir qualquer tipo de ônus, indenização ou ressarcimento e sem prejuízo algum. Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro, mas terá a garantia de que todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não serão de sua responsabilidade. Seu nome não aparecerá em qualquer momento do estudo, pois você será identificado com um número. O conjunto dos resultados obtidos poderá ser divulgado em eventos científicos, em revistas ou outros meios de divulgação, mas seu nome será sempre mantido em sigilo. Você poderá ter acesso aos resultados e conclusões do estudo, bastando para isso entrar em contato com os pesquisadores e agendar um horário para que possa receber informações globais constantes no relatório final da pesquisa. Durante o estudo, você poderá ter todas as informações que quiser. Para isso, os pesquisadores estarão a sua disposição para orientar ou sanar possíveis dúvidas ao longo da sua participação na pesquisa.

Com todas estas informações você, se estiver de acordo em participar da pesquisa, deve assinar o seguinte termo:

Eu _____,
RG: _____, residente
à _____

_____, na cidade de _____, com telefone _____
li o esclarecimento acima e compreendi para que serve o estudo e qual procedimento a que serei submetido. A explicação que recebi esclarece os riscos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não trará prejuízo algum. Sei que meu nome não será divulgado, que não terei despesas e não receberei dinheiro para participar do estudo.

Concordo livremente em participar do estudo descrito, com as condições estabelecidas. Uma cópia deste consentimento ficará comigo e, a segunda cópia, assinada por mim, será arquivada pelos pesquisadores.

Os dados obtidos com esse trabalho ficarão em sigilo e serão usados somente para fins científicos, mas resguardando minha privacidade. Além disso, fui informado que posso desistir caso não queira mais participar do estudo.

Eu li e entendi as informações contidas neste documento e fui informado que terei qualquer dúvida esclarecida.

_____, _____ de _____ de
20____.

Mestrando: Alessandro Ribeiro de Pádua Machado

E-mail: alessandrormachado@yahoo.com.br

Telefone: (34) 9203-6449

Orientador: Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Alves Pereira

BioLab (Universidade Federal de Uberlândia): (34) 3239-4771

Comitê de Ética em Pesquisa: Universidade Federal de Uberlândia, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Bloco 1J, Campus Santa Mônica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38400-098. Telefone: (34) 3239-4531. E-mail: cep@propp.ufu.br

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

Assinatura do orientador