



1. INTRODUÇÃO

Este documento tem como objetivo fornecer uma base para elaboração de projetos de pesquisa utilizando a plataforma neuroUP. A primeira sessão apresenta uma introdução sobre o Biofeedback e aspectos técnicos, e a segunda sessão possui enfoque nos métodos de aplicação da avaliação muscular e treinamento por Biofeedback.

1.1 BIOFEEDBACK

O *Biofeedback* é uma técnica de treinamento que permite a modificação do comportamento e a otimização de funções corporais com o uso de instrumentos. As informações fisiológicas são captadas, processadas e oferecidas de volta aos pacientes (retroalimentação) através de vias sensoriais (CASTELNUOVO e colab., 2016).

Esta técnica é capaz de causar efeitos de longo-prazo por estimular a neuroplasticidade cerebral (STREHL e colab., 2014). Esta abordagem vem sendo utilizada para o treinamento de funções como a respiração, a variabilidade dos ritmos cardíacos, a pulsação arterial, o tônus muscular, a atividade cerebral, o posicionamento do corpo, etc. A base teórica do *Biofeedback* é atribuída ao princípio do Condicionamento operante, teoria desenvolvida por Skinner (1938) e que explica uma abordagem de modificação de comportamentos através do treinamento. De acordo com esta teoria, é possível modelar o comportamento de organismos ao oferecer recompensas e punições de forma em sequência. Por exemplo, a probabilidade de uma criança desenvolver o hábito de escovar os dentes aumenta se ela receber elogios constantes por realizar esta atividade. Por outro lado, esta mesma criança terá uma baixa probabilidade de voltar a inserir a mão em uma tomada, caso ela receba choques elétricos todas as vezes.

No *Biofeedback*, este condicionamento é utilizado para aprender a melhorar o funcionamento do corpo, e pode ser aprendido como uso de instrumentos analógicos ou digitais. Os treinamentos mais simples podem ser realizados como balanças, espelhos e esfigmomanômetros, mas também é possível treinar funções mais refinadas através de



instrumentos digitais que realizam a coleta de biossinais, como o Eletroencefalogramas e o Eletromiograma (GLOMBIEWSKI e colab., 2013).

Os sinais fornecidos por estes instrumentos digitais são captados, processados e transformados em estímulos sensoriais relacionados com o sinal biológico. A escolha adequada da modalidade de *feedback* é fundamental para o sucesso desta intervenção.

Deve-se optar por estímulos que sejam compreensíveis e que despertem o interesse dos participantes, para evitar que os mesmos não se frustrem e que compreendam os objetivos estipulados pelo profissional (KROPOTOV, 2009).

As principais vias sensoriais utilizadas com este objetivo são a visual, onde o participante interage com estímulos gráficos e jogos expostos em monitores, e a via auditiva, na qual os pacientes escutam sons específicos ao atingir limiares (*feedback* descontínuo) ou escutam tons de instrumentos musicais que podem variar em ritmo e frequência de acordo com a atividade cerebral (*feedback* contínuo).

1.2 BIOFEEDBACK MUSCULAR

Mas para que precisamos de instrumentos para aprender a relaxar os músculos se nós temos um sistema de propriocepção com os fusos musculares e os órgãos tendinosos de Golgi? Estas estruturas nos fornecem informações sobre o nível de estiramento e o posicionamento articular, respectivamente, permitindo que o sistema nervoso possa coordenar e realizar contrações voluntárias (BEWICK e BANKS, 2015).

Porém, em situações dolorosas, os nociceptores dos músculos da mastigação são ativados e afetam significativamente as propriedades proprioceptivas, reduzindo o seu processamento no sistema nervoso central (RO e CAPRA, 2001). Leve-se em conta outro agravante relacionado à fisiologia básica desse tipo de receptor: os nociceptores possuem característica tônica, isto é, continuam disparando potenciais de ação de forma contínua e sem atenuação enquanto houver o estímulo doloroso, dia e noite. Outro estudo realizou uma estimulação dolorosa nos músculos mastigatório, com a injeção de soluções salinas



hipertônicas, e demonstrou que o controle muscular foi alterado nestes participantes (SHIMADA e colab., 2013).

Por este motivo, instrumentos que captam a atividade muscular são capazes de otimizar este aprendizado e permitir que pacientes atinjam níveis avançados de relaxamento com o *Biofeedback*. O principal recurso utilizado para este fim é a Eletromiografia de superfície, técnica não-invasiva, de baixo-custo e facilidade aplicação. Ela mede a atividade neuromuscular através de sensores posicionados na superfície da pele e de amplificadores de instrumentação (RAINS, 2008). É importante frisar que o aparelho de eletromiografia não emite nenhum tipo de corrente eletromagnética, fônica ou térmica com efeito terapêutico, portanto os resultados clínicos esperados ocorrem através da interação com os *feedbacks* apresentados pelo sistema.

O *Biofeedback* por EMG tem sido utilizado para aumentar o controle e força muscular em pacientes pós-AVC (DOĞAN-ASLAN e colab., 2012) e também na reabilitação pós-cirúrgica (PIETROSIMONE e colab., 2015). De forma contrária, pode ser utilizada para ensinar os participantes a reduzir a tensão muscular em pacientes com fibromialgia (GLOMBIEWSKI e colab., 2013), disfunção temporomandibular (CRIADO e colab., 2016) e dores crônicas lombares (SIELSKI e colab., 2017).

1.3. INSTRUMENTAÇÃO EM ELETROMIOGRAFIA

A Eletromiografia de superfície é uma técnica capaz de amplificar sinais elétricos captados sobre a pele acima de músculos superficiais. Os sinais são conduzidos através dos tecidos e captados nos sensores, representando a somação temporal e espacial de uma população de unidades motoras próximas. A amplitude do sinal dependerá de diversos fatores como a taxa de disparo dos potenciais de ação, diâmetro das fibras e da distância dos sensores para as fibras musculares. Estes sinais são captados através de Eletrodos, estruturas com elevada condutibilidade elétrica, geralmente de materiais metálicos e que realizam a interface entre a pele e o aparelho de amplificação. Os sensores de

Eletrômetrografia podem ser fixados na pele através de adesivos, de faixas elásticas ou de acessórios vestíveis como pulseiras e capacetes.

É necessário a utilização de pelo menos três eletrodos para obter atividade de um grupamento muscular: ativo, referência e terra (RAINOLDI e colab., 2004). Os dois primeiros irão captar a atividade dos músculos dispostos na direção longitudinal das fibras, com a distância padrão de 2cm entre eles. Por outro lado, o eletrodo terra não tem a finalidade de captar sinal muscular, e sim de igualar os potenciais elétricos do aparelho e do corpo do paciente.

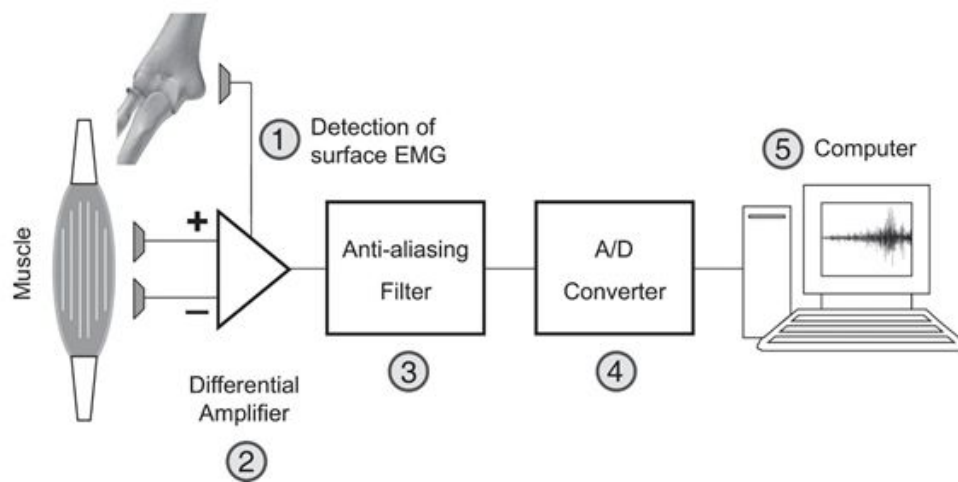


Figura 1. Instrumentação do EMG de superfície. 1) eletrodos de superfície, materiais responsáveis por captar a atividade elétrica na pele; 2) Amplificador diferencial, equipamento responsável pelo aumento de ganho e subtração dos sinais dos eletrodos ativo e referência; 3) filtros analógicos, com a função de atenuar frequência baixas e altas que estão fora da banda de frequência do EMG; 4) conversor analógico digital, componente que realiza a amostragem do sinal; 5) computador, equipamento com capacidade de processamento para aplicar algoritmos digitais. Figura retirada de: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-surface-electromyography-why-when-how-X1888754611201253>

Por se tratar de sinais elétricos muito pequenos, na escala de microvolts, é necessário realizar a amplificação para que possamos manipular as informações. Portanto,

os aparelhos de Eletromiografia contam com amplificadores de instrumentação, componentes aumentam o ganho do sinal e que realizam a subtração entre os sinais do eletrodo ativo e referência (SUPUK e colab., 2014). O objetivo desta operação é de reduzir a influência de outras fontes endógenas de atividade muscular, como os sinais de músculos distantes (*cross-talking*) ou batimentos cardíacos, também de reduzir a influência de artefatos externos.

Em seguida o aparelho realiza a conversão analógico-digital, com a finalidade de representar os sinais elétricos em linguagem computacional (padrão binário). De acordo com o teorema de Nyquist, a taxa de amostragem, que é a quantidade de pontos captados por segundo, precisar ser pelo menos o dobro da frequência do sinal elétrico (NYQUIST, 1928). A atividade eletromiográfica varia geralmente entre 0,5- 500 Hz, portanto é recomendado que a taxa de amostragem seja de ao menos 1.000Hz, caso necessite avaliar todas estas faixas desse espectro de frequência.

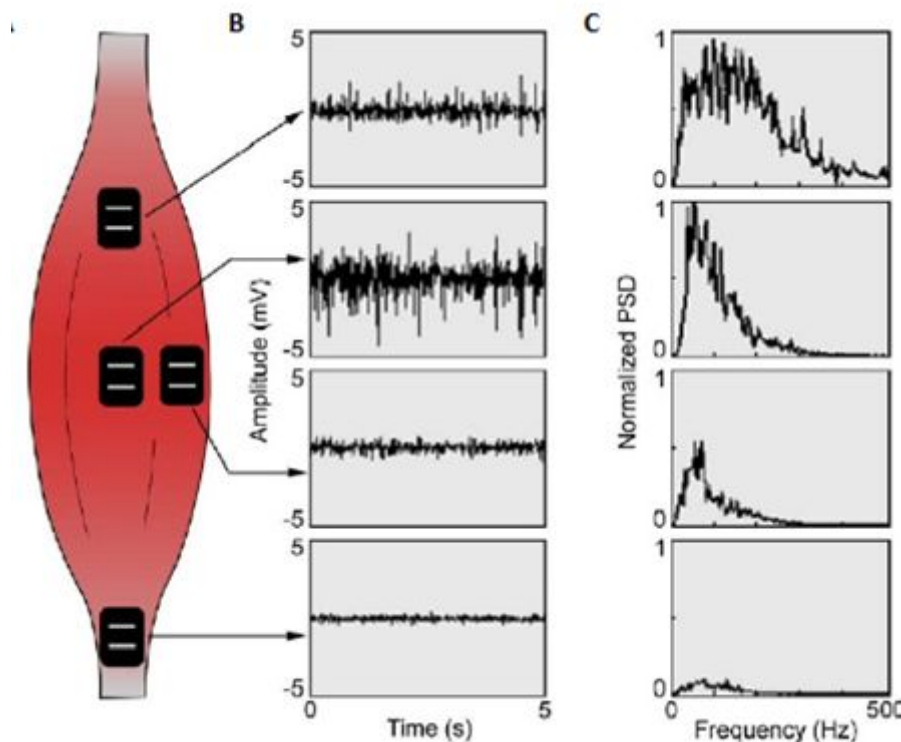




Figura 2. Posicionamento do sensor e representação gráfica dos sinais. A) A posição ótima para a coleta dos sinais do EMG é no ventre muscular e a disposição dos eletrodos ativo e referência devem seguir o sentido longitudinal das fibras; B) representação do sinal do EMG no domínio do tempo na notação de amplitude (μV). Note que o posicionamento do sensor descrito no item A apresenta a maior amplitude do sinal entre as quatro montagens. C) representação do sinal do EMG no domínio de frequência normalizada. A unidade de medida utilizada antes da normalização é a potência espectral (μV^2) e o eixo X representa as frequências do sinal em Hz. Figura retirada de: <https://www.coursehero.com/file/p52tiqpj/Amplitude-and-frequency-spectrum-of-EMG-signal-affected-by-electrode-placement/>

Estes sinais digitais passam por etapas de pré-processamento com objetivo de reduzir possíveis artefatos. Estes fenômenos podem ser biológicos, como batimentos cardíacos, atividade elétrica da retina e pulsação arterial, bem como podem ser ambientais, como ruídos da corrente elétrica, radiações eletromagnéticas de aparelhos celular e lâmpadas.

O tipo de filtro digital mais utilizado no processamento de sinais bioelétricos é o *Butterworth*. Este recurso costuma ser utilizado com dois objetivos: atenuar a atividade em frequências extremas, onde não existe atividade muscular, o chamado filtro passa-banda; e também para reduzir os artefatos de corrente elétrica (60 Hz no Brasil), o chamado filtro *Notch*.

Após o pré-processamento do sinal, os sinais da Eletromiografia ainda se mantêm complexos e difíceis de serem treinados pelo paciente, pois trata-se de um sinal complexo (partes positivas e negativas) e com elevada quantidade de informações por segundo. Portanto utiliza-se um recurso de processamento chamado de Raiz quadrada da média (do inglês, *Root Mean Square*, RMS). Os sinais processados em RMS são mais fáceis de serem compreendidos, pois ocorre uma redução da quantidade de pontos por segundo, e além disso, a sua potência elétrica aumenta com a contração e reduz com o relaxamento.



O sinal resultante deste cálculo é utilizado pelas aplicações de *Biofeedback* através de recursos audiovisuais. Para aumentar o engajamento dos pacientes, também é possível incluir técnicas de gamificação ao atribuir objetivos e metas para o treinamento.

2. MÉTODOS

2.1. Avaliação muscular

A avaliação da atividade muscular será captada através de sensores de Eletromiografia de superfície (sEMG) durante dez minutos de repouso. Os participantes estarão sentados em uma cadeira confortável, e serão instruídos a evitar movimentos com a mandíbula durante dez minutos.

Antes de iniciar as coletas, os participantes passarão por uma assepsia da pele, com algodão e álcool gel, na região da superfície da porção anterior do músculo temporal. Em seguida, o equipamento será posicionado unilateralmente, de acordo com os seguintes critérios:

1. Hemicorpo com maior dor à palpação; caso não seja possível determinar:
2. Hemicorpo com maior deslocamento da cabeça do côndilo mandibular na palpação durante os movimentos de abertura e fechamento da boca.

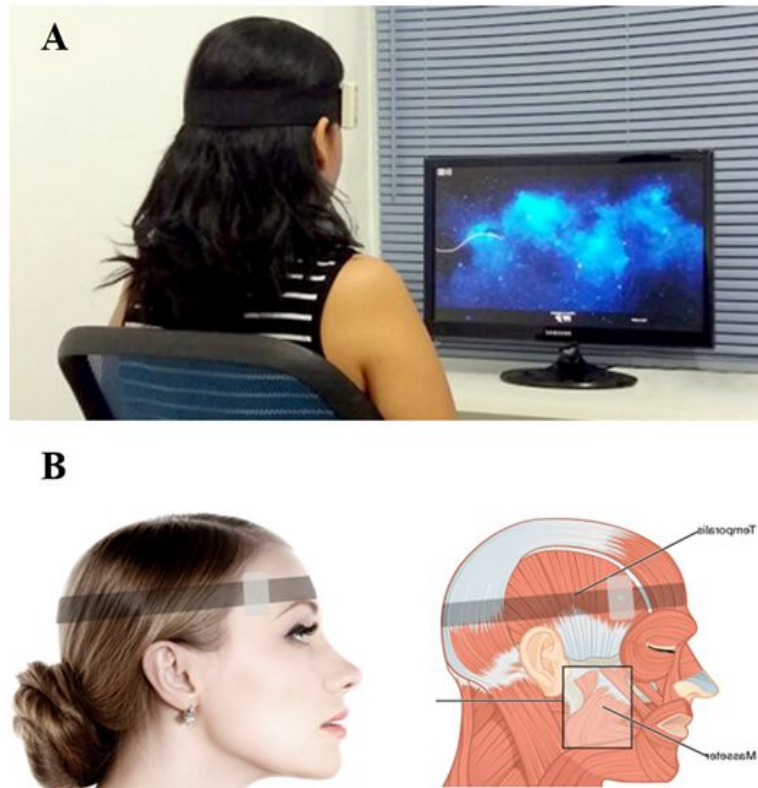


Figura 3. Posicionamento dos sensores e dos participantes. A) os pacientes foram posicionados em frente a um monitor que apresentou os *feedbacks* visual através da tela e auditivo através de alto-falantes. B) representação da posição do equipamento de EMG na porção anterior do músculo temporal.

Os eletrodos serão conectados ao amplificador portátil de Eletromiografia de superfície *Myobox* (*neuroUP*, Brasil), com o envio de sinais ao computador por protocolo Bluetooth 4.0, e com taxa de amostragem de 1.000 Hz.

Antes do início da coleta, os participantes serão instruídos a “apertar os dentes” (máxima intercuspidação habitual), de forma suave, para confirmar o posicionamento dos eletrodos na porção anterior do músculo temporal. Esta verificação será realizada através

da inspeção visual do traçado de Eletromiografia e através de um algoritmo de medição da qualidade do sinal no software *Bodyfeedback* (*neuroUP*, Brasil).



Figura 4. Teste de qualidade do sinal do EMG. A verificação é realizada em dois passos, através da inspeção visual do traçado (parte inferior) e da confirmação com o algoritmo de medição da qualidade do sinal (parte superior).

2.2 Potência elétrica de repouso

A potência elétrica de repouso será obtida através da média do sinal do RMS, mensurado durante toda a sessão de avaliação. Este sinal será processado através de um filtro digital do tipo passa-banda, com cortes em 30Hz e 500 Hz, e por um filtro *Notch*, em 60 Hz, ambos do tipo *Butterworth*. Estes sinais serão transformados para a notação da Raiz quadrada da média (do inglês, *Root Mean Square*, RMS).

2.3 Movimentos parafuncionais/minuto

Os dados da avaliação muscular também serão processados por um algoritmo que calcula automaticamente a quantidade de movimentos parafuncionais por minuto. Este operador de classificação utiliza inteligência artificial para identificar os picos de elevação de contração muscular durante o sinal.

2.4 Base de dados Z-score

Os resultados do cálculo da potência muscular de repouso e dos movimentos parafuncionais/minuto serão comparados com uma base de dados de participantes

saudáveis, de mesma faixa etária e gênero (neuroUP database, neuroUP). A estatística utilizada será o Z-score, e os resultados serão considerados significantes se o resultado de cada análise for maior do que 1.96 desvio-padrão, mantendo uma confiabilidade de 95%. Desta forma, os dados serão classificados como “ótimo” (Z-score < -1.96), “normal” (Z-score entre -1.96 e 1,96) e “elevado” (Z-score >1.96).

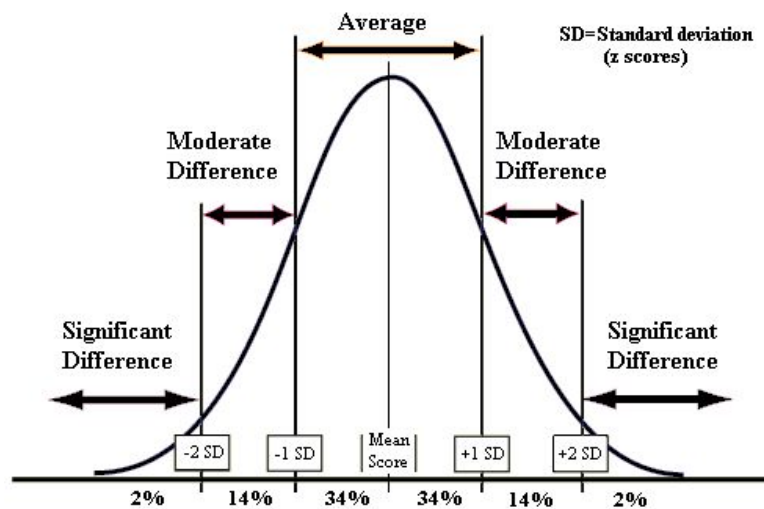


Figura 5. Z-score. Representação gráfico do Z-score

Fonte: <http://neurofeedbackcenterofrochester.com/what-is-z-score-training/>

2.5 Biofeedback por Eletromiografia

As sessões de treinamento serão realizadas com os participantes sentados a um metro de distância de um monitor com o *software Bodyfeedback* com a aplicação Maestro (*neuroUP*, Brasil) utilizando os sinais elétricos processados em RMS. Serão realizadas cinco sessões de treinamento, com frequência semanal e com duração de trinta minutos cada.

Os participantes receberão duas modalidades de retroalimentação simultâneas, através de vias visuais e auditivas:

A) *Feedback* visual:

Os participantes irão observar um gráfico dinâmico em linha, com deslocamento no eixo Y de acordo com o nível de contração muscular. O objetivo será reduzir o valor do gráfico para aproximá-lo o máximo possível do limite inferior da tela. Esta aplicação possui temática de jogos baseados em naves espaciais, para tornar a sessão lúdica.

Os pesquisadores também irão utilizar um recurso chamado de limiares (objetivos), que será representado com uma linha paralela na tela (Figura 6). Esta marcação indicará as metas a serem atingidas pelos pacientes, e o objetivo é manter-se abaixo desta marca. Os limiares serão modificados dinamicamente, mantendo valores aproximadamente 10% acima do RMS momentâneo dos participantes. O limiar será mantido levemente acima do resultados momentâneo do paciente reduzir a hipervigilância, e não gerar um aumento de tensão durante a sessão.

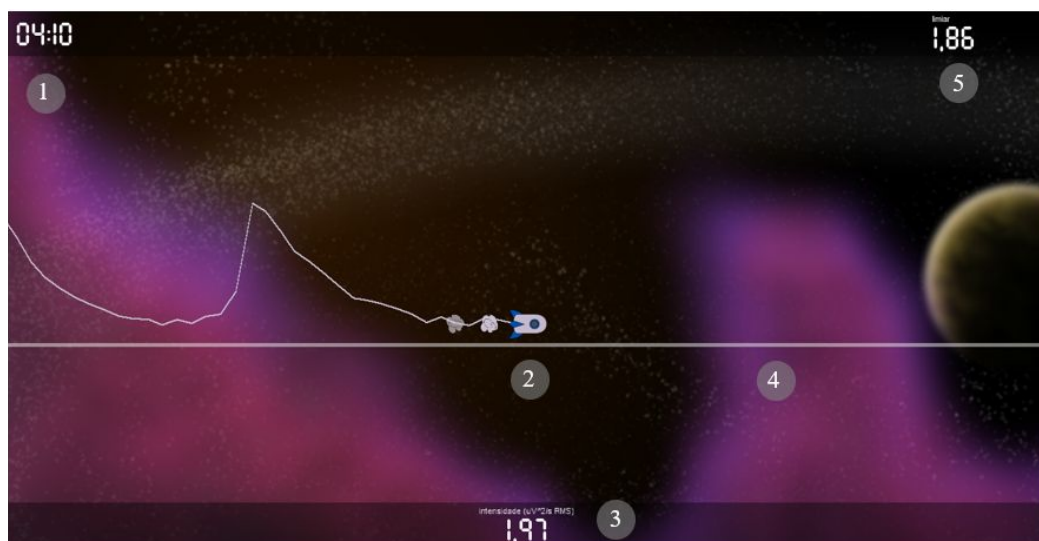


Figura 6. Elementos gráficos do *feedback* visual. 1) Temporizador com a duração da sessão; 2) Elemento gráfico em forma de nave espacial que varia no eixo Y de acordo com o sinal do RMS; 3)



Valor da intensidade do sinal do RMS 4) Limiar representado por uma linha branca horizontal; 5) valor correspondente do limiar.

B) Feedback auditivo:

Simultaneamente, os participantes irão ouvir tons de piano que variam em ritmo (número de tons por segundo) e em frequência sonora (variações entre notas graves e agudas, seguindo a escala de Dó maior) de acordo com o nível de ativação elétrica. O objetivo será de tornar os sons mais graves e de reduzir o seu ritmo, ou seja, torná-los mais lentos. O feedback auditivo será desligado automaticamente sempre que os valores forem menores que o limiar proposto.