

Projeto e prototipagem de sistema para aquisição e análise de EMG do assoalho pélvico

Diogo Souza¹
diogo.bezerradesouza@gmail.com

Lucas Fonseca¹
luquinhas0805@gmail.com

Julio Melo¹
julio.melo@imd.ufrn.br

Alethea Cury²
alethea.cury@gmail.com

Elizabel Viana²
elizabelviana@gmail.com

Edgard Correa³
edgard@dimap.ufrn.br

¹Instituto Metr pole Digital

²Dept. de Fisioterapia

³Dept. de Informática e Matemática Aplicada

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil

Abstract—Electromyography (EMG) is one of the methods used to measure the muscular activity, it can be done via external electrodes or using needles. Nowadays the EMG is used in many areas as medicine, physiotherapy, odontology, phonoaudiology and even to create prosthetic limbs. A specific example is the field that uses EMG on the evaluation of Pelvic Floor muscles. Most of these evaluation techniques require the use of specific equipment that restrain the research on innovative techniques, since all the system is proprietary, from the EMG sensors to the analysis software. To mitigate this problem our work shows the development of a Wearable Pelvic Floor EMG evaluation system that transmits the data wirelessly to the data analysis system and is open software and open hardware. We believe our system will improve researches on the area by providing a more flexible toolset that can be used, modified and improved according the needs. This paper covers the development process of the device and data analysis software, resulting in a system that is ready to clinical tests.

Index Terms—Embedded Applications, Prototyping, EMG, Physiotherapy, Pelvic Floor Muscles

I. INTRODUÇÃO

A eletromiografia(EMG)   utilizada, principalmente nas áreas de medicina e fisioterapia, para o monitoramento da atividade elétrica de fibras musculares e membranas, em grupos de músculos específicos, por meio de eletrodos superficiais ou agulhas. Essa tecnologia   usada em muitas áreas como avalia o muscular [9], terapias com biofeedback [25], controle de  rteses robóticas [13], e outras. O importante   que exista um grupo de músculos específicos que precisem ser monitorados para alguma aplica o prática.

Um exemplo mais específico de aplica o de EMG,   na avalia o dos músculos do assoalho pélvico(MAP) [2], onde   avaliada a fun o da musculatura para ajudar no tratamento de disfun es relacionada com esse sistema muscular, usando um eletrodo de EMG intracavitário para fazer a capta o dos sinais mio-elétricos.

Existem no mercado uma variedade de dispositivos nacionais [22] e internacionais [12] que fazem a leitura de sinais EMG ou outras medidas que são utilizadas nas avalia es dos músculos assoalho pélvico.

Porém, até o período da pesquisa, não foram encontrados dispositivos que disponibilizassem informa es abertas sobre seu hardware ou software, o que diminui a possibilidade de expansão de pesquisas na  rea. As pesquisas na área da clínica usam dispositivos comerciais, que comumente são caros e restritos. Dispositivos comerciais mais baratos, como aqueles encontrados no mercado internacional para exercícios de Kegel [5], não passaram pelos testes necessários para serem usados na prática clínica.

Diversos fatores contribuem para o desenvolvimento de disfun es no assoalho pélvico, como o parto vaginal, obesidade, envelhecimento, histerectomia, etc [15]. Esses distúrbios possuem diferentes níveis de impacto no dia- -dia da mulher e podem ser diagnosticados e tratados usando dispositivos para aferir a integridade do MAP.

Atualmente os dispositivos utilizados na prática clínica têm forte acoplamento entre o hardware responsável aquisi o dos dados e o software responsável pela visualiza o dos dados. Esse acoplamento se dá pela utiliza o de fios que devem conectar os eletrodos ao equipamento de visualiza o para que o sistema funcione de forma correta.   comum ainda, que, durante a utiliza o dos dispositivos, o paciente tenha seus movimentos limitados por causa desses fios.

O acoplamento com fios entre a interface de visualiza o de dados e o dispositivo de coleta de sinal de EMG causa, principalmente, dois problemas: a restri o de movimento dos pacientes, devido   utiliza o de cabos; e a inflexibilidade de análise dos dados, devido ao software de análise.

Em fun o desses problemas, esse trabalho busca desenvolver um sistema de capta o e visualiza o de dados de EMG dos MAP. A soluço   composta por um dispositivo de captura que   vestido pelo paciente e transmite os dados de EMG para um software de visualiza o em um computador.

O sistema desenvolvido usar  um formato de dados abertos tanto na comunica o com a interface de visualiza o quanto para salvar os dados das sessões com os pacientes, permitindo que diferentes softwares de visualiza o sejam usados ou que diferentes análises sejam feitas   *posteriori*. O sistema

de visualização proverá ainda um conjunto de análises, que serão usadas para comparação com dispositivos padrão-ouro, já disponíveis no mercado a fim de validar as funcionalidades principais do dispositivo.

O sistema será desenvolvido através de uma metodologia orientada a protótipo, sendo avaliados seguindo critérios fixos durante o processo. Ao fim da etapa de desenvolvimento de hardware e software, os artefatos desenvolvidos são avaliados pelos critérios fixados *a priori*. O protótipo que passar em todos os critérios de avaliação será escolhido como versão final, candidato para testes clínicos que serão realizados por fisioterapeutas da área.

A principal contribuição deste trabalho está no desenvolvimento de um sistema embarcado sem fios de captação e um software de visualização de dados de EMG dos MAP, voltados especificamente para esse grupo de músculos, usando metodologias e ferramentas Open Software e Open Hardware. Dessa forma, os projetos dos protótipos de hardware e software serão abertos para uso e reprodução à comunidade acadêmica, contribuindo para futuros desenvolvimentos nessa área. Após validado em ambiente clínico, o sistema poderá ser usado no tratamento e pesquisas relacionadas aos músculos do assoalho pélvico.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem cinco formas principais de avaliar as funções e o estado do assoalho pélvico: palpação digital, imagem de ultrassom, imagem de ressonância magnética, perineometria e eletromiografia (EMG). A qualidade e possibilidades em cada um dos métodos são diferentes, e pode levar a diferentes conclusões dependendo, não só do paciente, como também a posição, em que ele se encontra ao realizar o exame, e o tipo de aparelho usado [24].

Em termos de desenvolvimento de aparelhos sem fio específicos para o exame de avaliação dos MAP são documentados principalmente dispositivos de aferição pressórica. Nesse contexto existem trabalhos que passaram pelo crivo clínico.

O primeiro trabalho nessa linha é proposto por Rosenbluth [27] e apresenta argumentos sobre os aparelhos usados na época, que limitavam as para aferir os sinais do AP em qualquer postura. O trabalho cobre o desenvolvimento e testes acadêmicos de um sensor pressórico que possibilita atividades inovadoras em relação ao que era possível com aparelhos na época. O trabalho, no entanto, não propõe o desenvolvimento de ferramentas de visualização e análise de dados, embora os dados sejam mostrados em ferramentas genéricas mencionadas no trabalho.

O trabalho demonstrado por Coleman [3] e validado por Hsu [8] apresenta uma solução clinicamente validada para avaliação do assoalho pélvico usando a metodologia através de sensores pressóricos. Esse trabalho é uma evolução do trabalho de Rosenbluth, já apresentado, e propõe uma série de melhorias em relação ao que foi feito nos trabalhos anteriores. O sensor desenvolvido e avaliado nesses trabalhos é sem fios e capaz de ser usado no dia a dia das pacientes, o que implica que ele tem maior mobilidade e é mais fácil de configurar.

Ainda assim, no escopo do trabalho não são apresentadas as ferramentas de análise de dados que devem ser usadas juntas do sistema.

Embora o foco dos trabalhos não fossem nas ferramentas de análise, o sensor desenvolvido academicamente foi usado em diversos estudos, o que culminou no mais recente trabalho do grupo no desenvolvimento de sondas pressóricas [19]. Nesse último trabalho o grupo relata problemas com as sondas anteriores relacionados com a transmissão do sinal de rádio frequência escolhido para transmitir os dados captados pelo sensor. O principal foco desse estudo foi o de extrair o processamento dos dados, que antes era internalizado na sonda, para a parte externa do corpo do paciente, melhorando assim a qualidade dos sinais de rádio transmitidos e o espaço disponível para o hardware.

Diferentemente do contexto de sensores pressóricos, no contexto de EMG não foram encontrados trabalhos que foquem no desenvolvimento de hardware especializado para os MAP. No entanto, foram encontrados diversos trabalhos voltados ao desenvolvimento de aquisição de dados genéricos de EMG, focando em reduzir o tamanho dos eletrodos, tamanho do circuito, potência consumida pelo monitoramento dos sinais. Um trabalho especialmente relacionado é apresentado por Aktan et al. [1], nele é apresentado o desenvolvimento de um sistema para aferir e analisar o sinal de EMG usando um microcontrolador e transmitir o sinal através de rádio frequência. Os autores desenvolvem também um sistema responsável por receber e exibir os dados. No trabalho é argumentado que os custos de desenvolvimento de sistema são menores do que a aquisição dos sensores, receptores e software em empresas especializadas. Os autores comparam ainda a qualidade do sinal obtido com um sensor comercial, obtendo diferença média de 3% no sinal. Embora não seja específico para o assoalho pélvico, esse trabalho se relaciona com este no sentido de que apresenta o desenvolvimento de sistemas que medem o sinal de EMG, além da justificativa em relação à aquisição e manutenção de soluções comerciais para serem usadas em pesquisa.

Estudos mais recentes comparam o uso de diversas sondas [12], mas continuam usando dispositivos de gravação e análise de EMG desenvolvidos voltados à músculos dos membros inferiores ou superiores como o Noraxon Telemetry [20] ou o Miotec Miotool [16].

De fato, existem diferentes fabricantes de transceptores de sinal de EMG com diferentes padrões de transmissão, software de análise e compatibilidade [28]. Assim, pesquisas que objetivam aferir o AP com EMG precisam se adaptar às restrições dos produtos do mercado, implicando em mais custos ou limitações nas análises devido aos softwares impostos pelos fabricantes como nos trabalhos de Park [23], Luginbuehl [14] e Moser [18] que usam transceptores comerciais.

Com relação aos trabalhos apresentados, a Tabela I apresenta uma comparação entre o trabalho descrito neste artigo e os principais trabalhos relacionados, é importante notar que, embora o trabalho apresentado por Coleman atingir todos os principais requisitos, ele não suporta sensores de EMG. Já

Tabela I
COMPARAÇÃO COM OS TRABALHOS RELACIONADOS.

Critério	Comercial	Específico do AP	SW. Aberto	HW. Aberto
Telemetry [20]	sim	não	não	não
Miotool [16]	sim	sim	não	não
Coleman [3]	não	sim	sim	sim
Aktan [1]	não	nao	sim	sim
Este Trabalho	não	sim	sim	sim

a soluções da Miotec e Noraxon, não usam padrões abertos, restringindo o uso do instrumento, com já mencionado. Desta forma, o presente trabalho visa desenvolver um sistema capaz de aferir os sinais de EMG dos MAP e transmiti-los por meio sem fios, usando um padrão de transmissão, hardware e softwares abertamente documentados. Na estação de análise de dados, será desenvolvido um software específico para exercícios fisioterapêuticos relacionados com os MAP, a fim de promover homogeneidade com ferramentas do mercado.

III. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido usando uma metodologia orientada a protótipos, processo de desenvolvimento foi organizado em 4 etapas: (i) o projeto de um circuito eletrônico para EMG dos MAP; (ii) o projeto dos *firmwares* que controlam os circuitos; (iii) o projeto de um software que interage com o sistema e, por fim, (iv) o projeto de um invólucro, para proteger os componentes eletrônicos. Essas etapas não precisam ser executadas em alguma ordem específica, neste caso, foram desenvolvidos hardware, *firmware* e softwares em paralelo, por fim, foram desenvolvidos os invólucros de proteção.

O sistema foi avaliado através de critérios pré estabelecidos para o hardware e para o software. Separar a avaliação do software da avaliação do hardware foi uma solução encontrada para acelerar o processo de prototipagem, permitindo entregar os subsistemas separadamente para análise.

Como pode ser visto na seção IV, a metodologia de avaliação de hardware envolve conceitos de eletrônica que não obrigatoriamente foram listados nos requisitos formais do sistema. Esses quesitos foram adicionados pela equipe de hardware, a fim de melhorar a qualidade do protótipo final. Os quesitos de avaliação de software, se relacionam com o que é esperado pelos fisioterapeutas especialistas que participam da avaliação do sistema durante toda a etapa de prototipagem.

Ao fim de cada etapa de prototipagem, o sistema completo é apresentado a fisioterapeutas, especialistas em avaliação dos MAP, a fim de validar características específicas desenvolvidas ou melhoradas em cada interação. Qualquer protótipo que passasse em todos os critérios estabelecidos, seria escolhido como versão final a fim de avançar o projeto para a fase de testes clínicos.

Os critérios relacionados com os protótipos de hardware deste projeto visam que o hardware atenda requisitos básicos relacionados à manutenção, funcionamento e facilidade de uso. Nesse sentido, um dos primeiros critérios estabelecidos foi a

forma de gravação do *firmware* (programa do microcontrolador), algo que ajudaria na manutenção do protótipo. Outros critérios para o hardware foram, a quantidade de baterias, o modo de carregamento e o invólucro para proteger e acomodar os componentes.

Os principais critérios estabelecidos em relação ao *firmware* foram: a capacidade de se conectar a uma rede *WiFi*; a disponibilização dos dados coletados através de um servidor FTP no próprio microcontrolador e o envio de dados com uma restrição temporal de, pelo menos, 60 amostras por segundo, para a estação de análise de dados.

Em relação ao software de análise e visualização, o primeiro critério estabelecido foi a presença de um software de configuração para o hardware de aquisição de dados, que deve auxiliar a configuração e conexão com uma rede *WiFi*. Ainda relacionado com o hardware foi definido como critério a possibilidade de controlar alguns comportamentos do hardware através do software, como mudar de modos de comportamento (armazenamento local ou transmissão de dados), e controlar o início e pausa na captura dos dados.

Em relação à interface com o usuário, o principal critério é a qualidade da visualização dos dados recebidos, nesse caso foi definido que esse critério pode ser avaliado como ruim, boa ou ótima dependendo da opinião dos especialistas ao qual o sistema é apresentado.

A implementação ou não de de protocolos de análise de sessão também é um dos critérios de avaliação do software, neste caso, durante a captura dos dados o software deverá implementar os protocolos de seção de Avaliação e Contínuo, que são implementados na ferramenta Miotool [17]. Por fim além de permitir a visualização dos dados é necessário que o software apresente um conjunto de análises da seção como cálculos estatísticos de primeira ordem, valores mínimos e máximos. Também é necessário um meio de salvar os dados das sessões realizadas para que elas possam ser avaliadas em outros momentos.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os passos iniciais do projeto do sistema de processamento e aquisição de dados se iniciou com o contato de especialistas na área de avaliação do assoalho pélvico. Os fisioterapeutas apresentaram o problema a ser resolvido e, com base em discussões mútuas, foi elaborado o diagrama geral de casos de uso mostrado na Figura 1.

Os casos de uso foram divididos em dois grupos, um relacionado com o software de análise de dados e outro relacionado com o hardware de aquisição. Os casos de uso relacionados com o hardware de aquisição de dados foram projetados tendo em vista que o dispositivo precisava ser compatível com eletrodos de EMG intracavitário já existentes no mercado e ser capaz de transmitir os dados de forma sem fios para um receptor que estará executando o software de análise de dados. O caso de uso denominado "Configurar Dispositivo" foi dividido entre os dois conjuntos, pois envolve desenvolvimento em termos de hardware, *firmware* e software ao mesmo tempo.

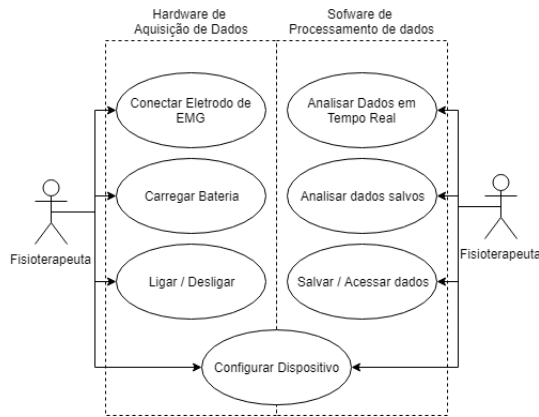


Figura 1. Diagrama de casos de uso do hardware de aquisição de dados e software de análise de dados

Os casos de uso relacionados com o software de processamento de dados foram elaborados com base no que era necessário para avaliação do assoalho pélvico segundo os especialistas da área. Concluímos então que é necessário analisar dados em tempo real, durante a aquisição pelo sensor, e analisar dados estáticos, previamente salvos/carregados pelo sistema. Os tipos de análise de dados necessárias variam com o tipo de intervenção fisioterapêutica realizada e serão abordados na seção relativa ao desenvolvimento do software de processamento de dados.

A partir dos casos de uso, alguns dos principais requisitos funcionais e não funcionais foram levantados para o hardware e o software, mostrados na Tabela II. Os requisitos levantados tiveram como objetivo servir como guia de desenvolvimento para o hardware e o software além de clarificar os principais pontos que precisariam ser considerados no desenvolvimento dos protótipos.

Tabela II
REQUISITOS FUNCIONAIS(RF) E NÃO FUNCIONAIS(RNF) DO HARDWARE E SOFTWARE DESENVOLVIDOS

Requisito	Classe	Sistema
Receber os dados enviados pelo hardware desenvolvido	RF	SW
Exibir os dados durante aquisição	RF	SW
Carregar e salvar dados no computador	RF	SW
Executar análises de dados básicas (estatística de primeira ordem, valores mínimos e máximos)	RNF	SW
Configurar o dispositivo de aquisição de dados	RNF	SW
Aquisição de dados de EMG através de sonda intracavitária	RF	HW
Transmissão de dados sem uso de fios	RF	HW
Energia por meio de Baterias	RF	HW
Transmissão de dados usando padrão aberto	RNF	HW
Armazenamento local de dados	RNF	HW
Ser leve o suficiente para ser vestido em uma indumentária especial	RNF	HW

Os requisitos apresentados foram compilados em um diagrama geral do sistema mostrado na Figura 2. O diagrama compila todos os requisitos básicos, no entanto, alguns outros requisitos não funcionais foram adicionados a medida que

os protótipos eram desenvolvidos, como será comentado na subseção IV.A.

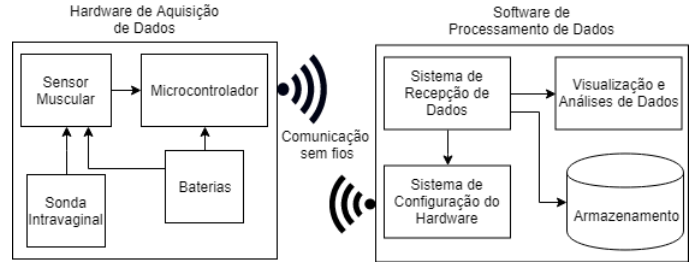


Figura 2. Diagrama geral do sistema

Nas subseções IV.A a IV.C o trabalho irá abordar o processo de prototipagem do hardware e do software. As etapas de desenvolvimento e validação dos protótipos serão abordadas a fim de discutir os pontos fortes de cada um e apresentar o processo de criação do sistema.

A. Protótipos do Hardware de Aquisição de Dados

A ideia principal iniciou do reuso de um sensor muscular DIY, o Muscle Sensor v3 [11], para medições dos MAP. Todos os protótipos foram desenvolvidos ao redor desse sensor, com o intuito de resolver os demais problemas relacionados com a transmissão do sinal, visualização e processamento do mesmo.

Inicialmente, foi realizado um estudo acerca do funcionamento do Muscle Sensor v3 a fim conhecer seu fator de amplificação e a conversão necessária para obter valores reais. Como citado anteriormente, o hardware foi desenvolvido em volta desse sensor por motivos de importar o conhecimento já adquirido na comunidade *maker* e reduzir os custos finais de projeto de hardware.

O restante do hardware foi desenvolvido usando outras plataformas abertas de hardware, por exemplo na solução de carregamento das baterias ou escolha de microcontrolador. O projeto do hardware desenvolvido, bem como os códigos de *firmware* está disponível em plataformas abertas para acesso da comunidade acadêmica [10].

Os protótipos foram desenvolvidos utilizando como controlador a placa Wemos R2 Mini [7] e como protocolo de transmissão o *WiFi*. Para a alimentação do dispositivo foram selecionadas inicialmente duas baterias com tensão de 3.7V e 900mA de corrente para se obter tensão tanto positiva quanto negativa para o funcionamento da *Muscle Sensor*, posteriormente foi possível utilizar apenas uma bateria graças ao circuito integrado ICL7660 [26], que possibilita obter uma tensão negativa a partir de uma positiva, também foi adicionado um circuito de carregamento interno, o *Battery Shield* da Wemos [6], que não fazia parte dos primeiros protótipos. Os invólucros dos protótipos foram construídos em plástico ABS utilizando uma impressora 3D, com pequenas variações a cada versão para adequar o posicionamento dos componentes bem como as aberturas para a conexão dos cabos de carga e programação.

A Tabela III apresenta os resultados das avaliações de todos os protótipos de hardware, é possível observar que o

protótipo 3 atende todos os requisitos. Assim, de acordo com a metodologia de aceitação proposta, este protótipo deve ser aceito como versão candidata para testes clínicos.

Tabela III
TABELA DE AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS DE HARDWARE.

Critério	Prot. 1	Prot. 2	Prot. 3
Gravação de firmware	Atendido	Atendido	Atendido
Carregamento de bateria	Não	Não	Sim
Qtd. de baterias	2	2	1
Conexão wireless	Atendido	Atendido	Atendido
Restrição temporal	Não	Sim	Sim
FTP	Atendido	Atendido	Atendido
Invólucro	Atendido	Atendido	Atendido
Especialistas	Reprovado	Aprovado	Aprovado

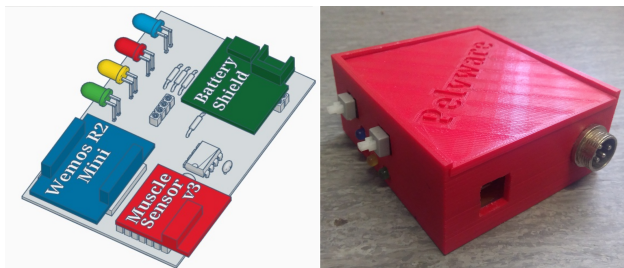


Figura 3. Modelo 3D da PCB e invólucro do protótipo 3.

B. Protótipos de Software de Processamento de dados

Inicialmente para desenvolver o software de processamento de dados, foi necessário escolher dentre as possíveis ferramentas para a implementação da interface de usuário (UI). Durante o estudo, dado que a linguagem de programação usada foi *Python*, optou-se por utilizar a biblioteca *PyQt4* [4] por ser multiplataforma, possuir boa documentação e exemplos disponíveis online além de ser software livre para aplicações não comerciais.

Depois de escolher a biblioteca a ser utilizada na implementação da UI, foi necessário pesquisar soluções para exibir os gráficos dos dados recebidos. Das soluções compatíveis com a *PyQt4*, foi escolhida a biblioteca *Pyqtgraph* [21], principalmente por permitir uma taxa de atualização dos gráficos suficiente para a exibição dos dados de EMG advindos do hardware de aquisição de dados.

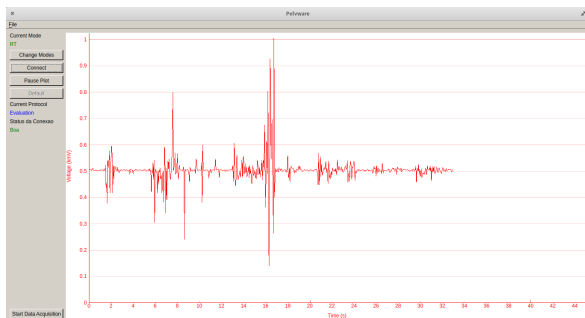


Figura 4. Protótipo final do software de visualização e análise de dados.

O *layout* da UI de todos os protótipos desenvolvidos seguiram todos os mesmos estilos, sendo uma área central para exibição dos dados de EMG e uma área na esquerda contendo elementos clicáveis de análises estatísticas, escolha de protocolo, bem como opções de configuração do hardware de aquisição de dados. O protótipo da Figura 4 satisfaz todos os requisitos levantados, permitindo a visualização estática dos dados de arquivos salvos no formato *CSV*, a plotagem de gráficos com taxa de atualização suficiente em relação à amostragem dos dados, apresentação de dados estatísticos, calculados com base na amostra, e a possibilidade de configurar o hardware de aquisição de dados através do software.

Tabela IV
TABELA DE AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS DE SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS.

Critério	Prot. 1	Prot. 2	Prot. 3
Configuração do Hardware	Não	Sim	Sim
Qualidade do gráfico	Ruim	Boa	Ótima
Protocolos de sessão	Não	Não	Sim
Salvar dados da sessão	Não	Sim	Sim
Análises estatísticas	Não	Não	Sim
Configuração de software	Ruim	Boa	Boa
Avaliação dos especialistas	Reprovado	Reprovado	Aprovado

C. Testes de Funcionalidade

Usando as versões finais do hardware e do software, foram realizados testes funcionais a fim de aferir a qualidade da transmissão e a usabilidade do sistema completo. Para tal, foi marcada uma última demonstração aos especialistas para aferir o funcionamento geral do sistema.

Para evitar problemas éticos e acelerar as validações do sistema, não foram realizados testes com pacientes em cenários reais. Porém, é possível obter sinais musculares, semelhantes com o cenário real, usando os músculos da mão. Nesse caso, o procedimento de teste se dá da seguinte maneira: Uma pessoa conecta o eletrodo de referência em uma superfície óssea do braço, essa pessoa segura a sonda intravaginal com os dedos polegar e indicador, como mostrado na Figura 5.

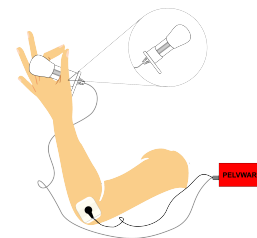


Figura 5. Configuração da sonda para testes

Através desse procedimento foi possível simular o cenário real de utilização da sonda, sem a necessidade de realizar medições reais do assoalho pélvico. Em conjunto com os especialistas, na última demonstração, o sistema foi aceito para testes com pacientes que serão realizados na próxima etapa do projeto.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o processo de projeto e prototipagem de um sistema de aquisição e processamento de dados de EMG relacionados ao assoalho pélvico. Através de requisitos levantados com base em entrevistas com fisioterapeutas especialistas no assunto, foi projetado e implementado um sistema completo capaz de captar dados de EMG de sondas intravaginais comerciais.

O sistema foi desenvolvido através de duas frentes, uma visando desenvolver um protótipo de hardware e outra um protótipo de software. Ao final da implementação de cada protótipo, foram realizadas reuniões com os especialistas a fim de obter *feedback* e melhorias a serem inseridas nas próximas versões. Foram apresentados os resultados da avaliação de 3 versões dos protótipos de hardware e software, sendo que as últimas versões atenderam todos os critérios de avaliação estabelecidos e implementam todos os requisitos planejados para o sistema. Os protótipos foram desenvolvidos usando tecnologias de software e hardware abertos, o que facilita o estudo e inovações futuras nesta área, todos os arquivos de projeto relacionados ao trabalho encontram-se disponíveis online no repositório do Github [10].

Embora o trabalho tenha atendido as expectativas dos especialistas envolvidos, ainda existem muitos pontos a serem abordados. O hardware apresentado deve ser testado em cenário real e validado junto a instrumentos médicos profissionais a fim de avaliar a qualidade do sinal obtido e sua viabilidade no uso da prática clínica. O estudo da área também mostra a necessidade da adição de outros sensores de EMG em músculos adicionais, o que pode implicar em mais protótipos de hardware a serem desenvolvidos.

O software apresentado precisa ser validado em termos de usabilidade junto de outros profissionais da área, além de precisar da implementação de outras funcionalidades para que seja usado em práticas clínicas (a versão apresentada aqui, tem como objetivo a validação do hardware, por isso muitas funcionalidades foram ignoradas).

Em trabalhos futuros espera-se implementação de um circuito específico para esta aplicação sem o uso de placas de desenvolvimento, bem como um melhor estudo em relação às baterias, o que deve reduzir significativamente o tamanho e peso final do protótipo. Consequentemente, mais implementações serão realizadas no software de visualização, permitindo melhores análises dos sinais. Espera-se também que o sistema apresentado neste trabalho seja validado em testes clínicos em etapas futuras do projeto, usando metodologias de comparação estatística com um sistema padrão-ouro para a área, a ferramenta Miotool Uro [17].

REFERÊNCIAS

- [1] Mehmet Emin Aktan, İmran Göker, Erhan Akdoğan, and Bedirhan Öztürk. Design, implementation and performance analysis of a microcontroller based wireless electromyography device. In *2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO)*, pages 1–4. IEEE, 2017.
- [2] João Luiz Amaro, Eliane Cristina Hilberath Moreira, Mônica Orsi Gameiro, and Carlos Roberto Padovani. Pelvic floor muscle evaluation in incontinent patients. *International Urogynecology Journal*, 16(5):352–354, 2005.
- [3] Tanner J Coleman, Jens C Thomsen, Sean D Maass, Yvonne Hsu, Ingrid E Nygaard, and Robert W Hitchcock. Development of a wireless intra-vaginal transducer for monitoring intra-abdominal pressure in women. *Biomedical microdevices*, 14(2):347–355, 2012.
- [4] Riverbank Computing. What is pyqt.
- [5] Cynthia. 10 best kegel exercise devices for stronger pelvic muscles, Jun 2019.
- [6] Wemos Electronics. Battery shield, Aug 2018.
- [7] Wemos Electronics. D1 mini, Dec 2018.
- [8] Yvonne Hsu, Tanner J Coleman, Robert W Hitchcock, Kristina Heintz, Janet M Shaw, and Ingrid E Nygaard. Clinical evaluation of a wireless intra-vaginal pressure transducer. *International urogynecology journal*, 23(12):1741–1747, 2012.
- [9] Jawad Hussain, Kenneth Sundaraj, Yin Fen Low, Chee Kiang Lam, and Md A Ali. Electromyography—a reliable technique for muscle activity assessment. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(2-6):155–159, 2018.
- [10] Lucas Santos Fonseca Julio Cesar Paulino de Melo, Lucas Santos Fonseca. Pelvware. <https://github.com/juliocp Melo/pelvware>, 2018.
- [11] Brian Kaminski. Muscle sensor v3, Jan 2010.
- [12] Nadia Keshwani and Linda McLean. State of the art review: intravaginal probes for recording electromyography from the pelvic floor muscles. *Neurourology and urodynamics*, 34(2):104–112, 2015.
- [13] Dinesh K. Kumar, Beth Jelfs, Xiaohong Sui, and Sridhar P. Arjunan. Prosthetic hand control: A multidisciplinary review to identify strengths, shortcomings, and the future. *Biomedical Signal Processing and Control*, 53:101588, 2019.
- [14] Helena Lugnbuehl, Rebecca Naeff, Anna Zahnd, Jean-Pierre Baeyens, Annette Kuhn, and Lorenz Radlinger. Pelvic floor muscle electromyography during different running speeds: an exploratory and reliability study. *Archives of gynecology and obstetrics*, 293(1):117–124, 2016.
- [15] Samuel Gene McNeeley. Distúrbios do assoalho pélvico - problemas de saúde feminina.
- [16] Miotec. Miotec new miotool.
- [17] Miotec. *Miotool Uro*. Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Rua Washington Luiz – 675 Centro CEP 90010-460, jan 2008.
- [18] Helene Moser, Monika Leitner, Jean-Pierre Baeyens, and Lorenz Radlinger. Pelvic floor muscle activity during impact activities in continent and incontinent women: a systematic review. *International urogynecology journal*, 29(2):179–196, 2018.
- [19] Stefan Niederauer, Johanna de Gennaro, Ingrid Nygaard, Tomasz Petelenz, and Robert Hitchcock. Development of a novel intra-abdominal pressure transducer for large scale clinical studies. *Biomedical microdevices*, 19(4):80, 2017.
- [20] Noraxon. Noraxon telemyo 2400 g2.
- [21] PyQtGraph Org. Pyqtgraph: Scientific graphics and gui library for python.
- [22] DAIANA LAURENCI ORTH. *Métodos de avaliação direta da força dos músculos do assoalho pélvico feminino: revisão sistemática e modelo de utilidade*. PhD thesis, Universidade Federal de São Carlos, 2018.
- [23] Kyung-hee Park, Sung-min Ha, Su-jung Kim, Kyue-nam Park, Oh-yun Kwon, and Jea-seop Oh. Effects of the pelvic rotatory control method on abdominal muscle activity and the pelvic rotation during active straight leg raising. *Manual therapy*, 18(3):220–224, 2013.
- [24] UM Peschers, A Gingelmaier, K Jundt, B Leib, and T Dimpfl. Evaluation of pelvic floor muscle strength using four different techniques. *International urogynecology journal*, 12(1):27–30, 2001.
- [25] Rohit Rastogi, DK Chaturvedi, Santosh Satya, Navneet Arora, Mayank Gupta, Heena Sirohi, Mayank Singh, Priyam Verma, and Vishal Kumar Singh. Which one is best: Electromyography biofeedback, efficacy analysis on audio, visual and audio-visual modes for chronic tth on different characteristics. *International Journal of Computational Intelligence & IoT*, 1(1), 2018.
- [26] Renesas. Icl7660 datasheet, Oct 2010.
- [27] Evan M Rosenbluth, Paul J Johnson, Robert W Hitchcock, and Ingrid E Nygaard. Development and testing of a vaginal pressure sensor to measure intra-abdominal pressure in women. *Neurourology and Urodynamics: Official Journal of the International Continence Society*, 29(4):532–535, 2010.
- [28] Suranga Seneviratne, Yining Hu, Tham Nguyen, Guohao Lan, Sara Khalifa, Kanchana Thilakarathna, Mahbub Hassan, and Aruna Seneviratne. A survey of wearable devices and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4):2573–2620, 2017.