

Projeto e desenvolvimento de um protótipo de baropodômetro

Tiago M. Jardim, André Farias, Daniel Affeldt, Julio S. D. Júnior,
Erico M. H. do Amaral

Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Caixa Postal 97546-550 – Bagé – RS – Brazil

tiagojardim.aluno@unipampa.edu.br, andrefarias.aluno@unipampa.edu.br

dnlaffeldt8@gmail.com, juliosaracol@gmail.com, ericoamaral@unipampa.edu.br

Abstract. *This article presents a proposed solution for the implementation of a low-cost baropodometer. This proposal aims to generate a diagnosis for patients who suffer some deformity in the soles of their feet. The proposal consists of a system that determines the points of greatest pressure during a physical therapy session and to identify the type of footstep. Using insoles with FSR sensors attached to measure pressure, it was possible to analyze and diagnose the patient, where the data collected was sent to a monitoring interface. From the analysis of the results, performed by the physical therapists, it was possible to identify that the solution met the initial requirements of the work, delivering through a graph the patterns of plantar distribution of patients, enabling the construction of specific orthopedic insoles for these patients.*

Resumo. *Esse artigo apresenta uma proposta de solução para a implementação de um baropodômetro de baixo custo. Essa proposta tem em vista gerar um diagnóstico de pacientes que sofrem alguma deformidade na planta dos pés. A proposta consiste em um sistema que determine os pontos de maior pressão durante uma sessão de fisioterapia e identificar o tipo de pisada. Utilizando palmilhas com sensores FSR acoplados para medir a pressão foi possível fazer uma análise e diagnóstico do paciente, onde os dados coletados foram enviados para uma interface de monitoramento. A partir da análise dos resultados, realizada pelos fisioterapeutas, foi possível identificar que a solução atendeu aos requisitos iniciais do trabalho, entregando através um gráfico os padrões da distribuição plantar dos pacientes, possibilitando a construção de palmilhas ortopédicas específicas para estes pacientes.*

1. Introdução

A baropodometria é um exame quantitativo que mede e compara a pressão exercida na região plantar dos pés, utilizando uma plataforma composta por um número elevado de sensores. O exame é realizado com um equipamento denominado baropodômetro, com o indivíduo em pé, de forma estática ou dinâmica [Codinhoto 2020].

O baropodômetro é composto por um conjunto de sensores dispostos em uma plataforma de força que mensura as pressões em diferentes regiões do pé, os sinais dos sensores são enviados por meio de cabos para um computador onde se consegue visualizar as informações enviadas, analisando diversos parâmetros, como assimetria de descarga

de peso nas regiões plantares, os deslocamentos e oscilações do centro de força dos pés [Nobukuni et al. 2014].

Na literatura ha inúmeros exemplos que a avaliação de podoposturologia pode auxiliar atletas na busca de melhores resultados e também uma qualidade de vida melhor em diferentes faixas etárias [Urban et al. 2014]. Desta forma, o presente estudo apresenta uma proposta de baropodômetro de baixo custo, estando o presente artigo organizado da seguinte forma: na seção 1 foi apresentado a contextualização, na seção 2 tem-se a descrição da metodologia, na seção 3 um breve referencial teórico, na seção 4 a solução proposta e por fim na seção 5 são apresentadas as considerações finais.

2. Metodologia

Com relação à metodologia científica, o presente estudo enquadra-se como hipotético-dedutivo, visto a finalidade de propor o protótipo para um baropodômetro de baixo custo. Em relação ao tipo de pesquisa classifica-se como Aplicada, pois tem como objetivo uma solução específica e bem definida, além de viabilizar a geração de conhecimento útil e aplicável. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em cinco etapas: A primeira consistiu na definição do problema de pesquisa, identificado a partir da necessidade de uma solução computacional, para atender a demanda de clínicas de reabilitação por soluções eficientes e de baixo custo para baropodometria; A segunda etapa consistiu em um levantamento de requisitos e referenciais teóricos sobre o tema; Na terceira etapa ocorreu a construção da proposta, que foi subdividida em suas etapas, a construção da palmilha e o desenvolvimento do software; Já, na quarta etapa foram realizados os testes e validação do protótipo (testes experimentais e ensaios), sendo a solução validada com base na apresentação de resultados e análise destes pelos profissionais de fisioterapia; Na quinta e ultima etapa desta fase da pesquisa foram analisados os resultados obtidos, permitindo desta forma a identificação de melhorias e trabalhos futuros.

3. Referencial Teórico

A estrutura do pé humano é geralmente formada por 26 ossos com um conjunto de músculos e articulações, possibilitando assim uma sustentação e mobilidade. Possuímos três partes anatômicas e funcionais, são elas: Retropé (posterior do pé): contém o tálus e o calcâneo. Mediopé (parte media do pé): onde estão os ossos, navicular, cubóide e os cuneiformes. Antepé (parte anterior do pé): onde se localizam os metatarsais e as falanges. A estrutura esquelética do pé é subdividida em três partes: ossos tarsais, metatarsais e falanges, onde existem sete ossos tarsais, cinco metatarsais e quinze falanges [Dalley and Moore 2007].

Segundo [Gimenez et al. 2019] alguns aspectos influenciam os padrões de distribuição de pressão plantar tais como: velocidade na caminhada, cadência e comprimento do passo, altura, peso corporal, amplitude de movimento do tornozelo e deformidades dos dedos, estes fatores são determinantes para os picos de pressão podendo ser vistos pela arquitetura do esqueleto, variação da anatomia e a composição e localização das placas de gordura plantar que distribui o peso.

O uso de microcontroladores é muito comum na área da informática médica devido à quantidade de recursos disponíveis, possibilitando aplicar métodos computacionais para auxiliar na reabilitação de pacientes, como no tratamento de traumas ou até mesmo

na melhora da qualidade de vida. Um exemplo de plataforma que utiliza microcontroladores é o arduino, sendo considerado desta forma uma solução versátil e de baixo custo [Nobukuni et al. 2014]. Como um dos principais elementos de medição de força utilizado com o arduino, o sensor FSR consiste em um dispositivo de dois condutores com uma resistência que depende da força aplicada. Para uma conversão simples de força para tensão, o sensor FSR é ligado a uma resistência de medição numa configuração de divisor de tensão. A tensão de saída se eleva com o aumento da força aplicada. se o sensor FSR e a resistência forem trocados, a oscilação da saída diminuirá com o aumento da forma [Souza 2021].

3.1. Trabalhos correlatos

Nessa seção serão apresentadas pesquisas relacionadas ao presente projeto. Estes estudos serviram de base para a construção da proposta do baropodômetro. Destacaram-se entre os estudos o trabalho de [Howell et al. 2013] que propôs um sistema de baixo custo para análise de marcha utilizando palmilha, visando um sistema capaz de analisar pacientes em recuperação de derrame. Seguindo o mesmo contexto, a proposta feita por [Hassan et al. 2017] consiste em um sistema que possui uma palmilha com sensores FSR que captura o momento da pisada do usuário, fazendo assim ativar os eletrodos de estimulação muscular (EMS) os quais estimulam a panturrilha com pequenos pulsos elétricos. O trabalho proposto por [Malvade et al. 2017] visa o desenvolvimento de um dispositivo de análise de pressão plantar com base em IoT (internet das coisas). O sistema desenvolvido poderia ser aplicado no campo da saúde e também na área esportiva. Esse sistema é composto por sensores FSR conectados a um microcontrolador onde é realizado as amostragens dos sensores e por fim enviando os dados para um dispositivo móvel utilizando o bluetooth. E por fim, o desenvolvimento de um sistema mobile proposto por [Pfaffen et al. 2011] é dividido em duas partes onde a primeira contempla o nó sensor e a segunda um software de processamento. O nó sensor é constituído por uma palmilha com uma distribuição de sensores do tipo FSR e um microcontrolador com um módulo de comunicação bluetooth. O software é um aplicativo para a plataforma android onde é apresentado os dados obtidos.

Em uma comparação básica entre os correlatos e a presente proposta percebe-se que embora os trabalhos possam objetivos distintos, alguns aspectos se assemelham, como a tarefa de identificar a pressão plantar. Notou-se que a maioria das pesquisas utilizou o sensor FSR e microcontroladores, além de utilizar o bluetooth para comunicação. Em comparação a proposta atual do trabalho optou-se a dar preferência a um módulo de armazenamento em vez de uma conexão via bluetooth.

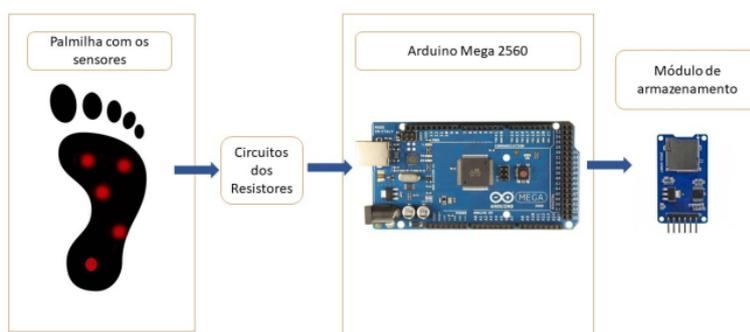
4. Solução Proposta

Esse projeto considerou a análise e monitoramento de um conjunto de sensores de força integrados a uma palmilha com o intuito de identificar os principais pontos de pressão e apontar deformidades na planta dos pés dos pacientes. A solução foi composta por uma plataforma de hardware e uma interface de monitoramento em software, onde se coletou um conjunto de dados através dos sensores FSR. A distribuição dos sensores utilizados foi baseado no conhecimento adquirido no estudo da anatomia do pé humano e de alguns padrões de distribuição plantar observados em literatura específica. Foi considerado também de um conjunto de fisioterapeutas, envolvidos com a presente pesquisa, o que

deu origem a um modelo inicial do posicionamento dos sensores: pelo estudo realizado definiu-se que a utilização de 5 sensores permitiria uma boa cobertura da superfície plantar. A palmilha utilizada foi construída utilizando um molde de material espuma vinílica acetinada (EVA) e confeccionada por um dos profissionais do SRF, considerando um pé com tamanho de 28 cm.

A proposta de arquitetura para a presente solução é apresentada na Figura 1, a qual consiste em uma palmilha com os sensores FSR em vermelho, foi utilizado os modelos FSR 400 e FSR 402 em conjunto com um resistor de 10k ohms. Logo após está conectado, o arduino Mega 2560 escolhido devido à solução encontrada na qual satisfazia as demandas por recursos para a construção. Para finalizar, o módulo de armazenamento conectado ao arduino tem a função de armazenar os dados processados, possui uma grande capacidade de armazenamento. O custo é consideravelmente baixo em comparação a um equipamento comercial, devido aos valores acessíveis do arduino e dos sensores, além da sua simplicidade e confiabilidade. A partir da proposta da arquitetura foi realizado o processo de análise de desenvolvimento da solução, adotando para isto recursos de engenharia de software, conforme descrito em [Sommerville 2011]. A primeira etapa consistiu na elicitação, onde uma amostra dos mesmos é apresentada na Figura 2.

Figura 1. Arquitetura Baropodômetro



Fonte: [Affeldt 2018]

Figura 2. Requisitos do sistema

Requisitos Não Funcionais	Essencial	Importante	Desejável	Requisitos Funcionais	Essencial	Importante	Desejável
Desempenho	X			Obter dados	X		
Interface fácil	X			Processar dados	X		
Integridade	X			Apresentar dados	X		
				Armazenar dados	X		
				Cadastrar paciente		X	
				Cadastrar profissional		X	
				Buscar paciente		X	
				Fazer login		X	
				Editar cadastros dos pacientes			X
				Editar cadastros dos profissionais			X

Fonte: [Affeldt 2018]

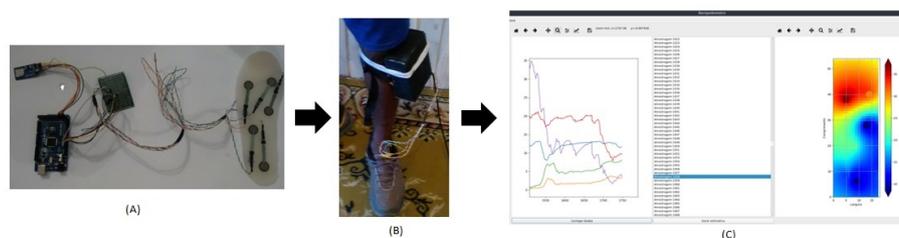
O levantamento de requisitos ocorreu através da técnica de entrevistas, realizadas com os profissionais de fisioterapia do SRF (Serviço de Reabilitação Física), sendo identificados desta forma os requisitos funcionais e não funcionais, sendo eles classificados como essenciais, onde são os requisitos imprescindíveis para a construção do sistema, os

importantes são requisitos para a aplicação, mas caso não sejam implementados não comprometem as funções do sistema e os desejáveis seriam relevantes para o sistema, porém sua implementação não é obrigatória.

4.1. Resultados e Discussões

Definido a modelagem e a análise do sistema foi iniciada a implementação.

Figura 3. Nó Sensor, Sessão de diagnóstico, Software



Fonte: [Affeldt 2018]

Na figura 3 (A) é apresentado o nó sensor onde consiste na interação do arduino com o módulo SD ligados com os sensores acoplados na palmilha. Os testes do nó sensor foram efetuados por duas etapas, foi primeiramente testado a integração dos sensores FSR com o arduino que foram conectados a partir das portas analógicas, foi posteriormente realizada a integração dos sensores e o módulo de monitoramento, assim finalizando a construção do nó sensor.

Na sequência figura 3 (B) é apresentado o equipamento acoplado em um paciente numa sessão de diagnóstico com a solução já construída.

Logo após na figura 3 (C) é apresentado os dados obtidos no software desenvolvido, que consiste em uma interface gráfica com três áreas distintas, sendo elas a primeira da esquerda para a direita consiste em um gráfico para análise do padrão de marcha, a segunda área consiste em uma lista com o total de amostragens, e a terceira área é um gráfico de estimativa de pressão gerado a partir de uma amostragem selecionada na segunda área.

O experimento consistiu em uma sessão de análise com um paciente que utilizou o nó sensor, onde o fisioterapeuta o auxiliou a calçar a palmilha, estipulando um tempo para duração da sessão. De posse das informações, os fisioterapeutas realizaram uma análise, relatando que a solução atendeu as expectativas de possibilitar a análise dos padrões de distribuição plantar, consideraram que o recurso de apresentar todos os valores das amostragens em um gráfico separado e permitir que a partir dessa visão geral, se estipule determinados trechos de amostragem para analisar detalhadamente diversos modelos de marcha dinâmica, um recurso útil que pode auxiliar a identificar pontos de anormalidade ou excesso de pressão em determinadas áreas, relataram que essa possibilidade de análise dos diversos momentos da marcha dinâmica um recurso que não é disponível nos métodos atuais de análise.

5. Considerações Finais

Considerando os resultados obtidos e analisados, a solução construída atendeu aos requisitos dos fisioterapeutas. A análise dinâmica foi muito bem vista devido que não

é possível de realizar utilizando o método tradicional. A partir da solução implementada foi possível refletir sobre os objetivos traçados no início da pesquisa e como foram alcançados. Buscou-se sempre pela fundação teórica onde foi obtido um conhecimento sobre os principais tópicos envolvendo a pesquisa, os trabalhos correlatos estudados permitiram um bom embasamento para o início do projeto.

Em conjunto com os fisioterapeutas foi possível concluir com êxito a definição dos requisitos via reuniões e mockups possibilitando assim realizar a modelagem do projeto usando como base os padrões de engenharia de software. Visando uma solução computacional de baixo custo que auxilie os profissionais fisioterapeutas para análise da pressão plantar e considerando as avaliações da solução, foi possível concluir que a presente proposta conseguiu atingir o objetivo proposto.

Referências

- Affeldt, D. M. (2018). Projeto de desenvolvimento de um protótipo de baropodômetro.
- Codinhoto, J. P. (2020). Hermes: desenvolvimento de software para baropodômetros.
- Dalley, A. F. and Moore, K. (2007). Anatomia orientada para a clínica. *Rio de Janeiro. 5ed. Guanabara Koogan.*
- Gimenez, F. V. et al. (2019). A baropodometria como método de avaliação da distribuição da pressão plantar e estabilometria em portadores de doença de parkinson. Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Hassan, M., Daiber, F., Wiehr, F., Kosmalla, F., and Krüger, A. (2017). Footstriker: An ems-based foot strike assistant for running. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 1(1):1–18.
- Howell, A. M., Kobayashi, T., Hayes, H. A., Foreman, K. B., and Bamberg, S. J. M. (2013). Kinetic gait analysis using a low-cost insole. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(12):3284–3290.
- Malvade, P. S., Joshi, A. K., and Madhe, S. P. (2017). Iot based monitoring of foot pressure using fsr sensor. In *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCCSP)*, pages 0635–0639. IEEE.
- Nobukuni, M. I. et al. (2014). Aplicativo android para aquisição de dados de um baropodômetro via bluetooth para apoio na análise de escoliose.
- Pfaffen, S., Sommer, P., Stocker, C., Wattenhofer, R., and Welten, S. (2011). Planipes: Mobile foot pressure analysis. In *Proceedings of the First ACM Workshop on Mobile Systems, Applications, and Services for Healthcare*, pages 1–6.
- Sommerville, I. (2011). *Engenharia de software*. Pearson Prentice Hall.
- Souza, P. R. d. J. (2021). Desenvolvimento de protótipo de baixo custo de sistema de detecção de instabilidade de solo em infraestrutura e dutos enterrados.
- Urban, M. F. R., Sanches, M. A. A., Kozan, R. F., Felão, L. H. V., Bazani, M. A., and Carvalho, A. (2014). Desenvolvimento de um protótipo de baropodômetro. In *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB)*, pages 13–17. CBEB Curitiba.