

# SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS PARA SONS CORPORAIS

V. H. D. Rizzo\*, F. L. Bertotti\* e F. B. de Moraes\*

\*Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica e Bioeletromagnetismo – GPEBB/Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil  
e-mail: bertotti@utfpr.edu.br

**Resumo:** A auscultação dos sons corporais é uma técnica frequentemente utilizada na medicina para diagnóstico de doenças ou distúrbios no coração, no sistema respiratório e gastrointestinal. O estetoscópio convencional é o instrumento empregado para auscultação e seu uso adequado requer prática e experiência por parte do profissional da saúde. A aplicação de técnicas de processamento digital de sinais no sinal sonoro obtido por este instrumento, como filtragem e amplificação, facilita a identificação de eventuais distúrbios. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um estetoscópio digital microcontrolado. Circuitos de aquisição e condicionamento de sinal, filtros digitais e circuito de reconstrução de sinal foram implementados. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** estetoscópio, filtros digitais, microcontrolador.

**Abstract:** *Corporal sounds auscultation is a technique frequently used in medicine for the diagnosis of cardiac, pulmonary and intestinal disturbs. The conventional stethoscope is the instrument utilized for auscultation and its use by a medical professional requires practice and experience. The application of digital signal processing techniques on the sampled signal, as filtering and amplification, makes the identification of occasional disturbs easier. This paper presents the development of a microcontrolled digital stethoscope. Conditioning and signal acquisition circuits, digital filters and signal reconstruction circuits were implemented. The results are shown and discussed.*

**Keywords:** *stethoscope, digital filters, microcontroller.*

## Introdução

A auscultação de sons corporais é uma técnica amplamente utilizada na medicina e permite avaliar o comportamento do coração, do sistema respiratório e gastrointestinal. Por exemplo, no caso do coração, através da análise do som emitido por este órgão, os médicos são capazes de diagnosticar doenças e distúrbios relacionados à atividade cardíaca do paciente [1].

A ferramenta mais utilizada clinicamente para auscultação de sons corporais é o estetoscópio. Um estetoscópio convencional (mecânico), conforme descrito por David Littman, é constituído por olivas auriculares, tubos binaurais, tubo de condução flexível, campânula e diafragma [2]. Apesar de sua simplicidade,

o uso de um estetoscópio tradicional para diagnóstico requer bastante prática e experiência por parte do profissional responsável [3].

Atualmente, com o avanço da engenharia biomédica várias técnicas de processamento digital de sinais são aplicadas a medicina, principalmente aquelas voltadas à aquisição e análise de sinais biológicos [4]. Estas técnicas possibilitaram o desenvolvimento dos estetoscópios digitais, que permitem amplificar e filtrar de forma adequada o sinal referente aos sons corporais, facilitando a identificação de eventuais distúrbios, sejam estes pulmonares, cardíacos ou gastrointestinais [3] [5].

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um estetoscópio digital, formado por circuitos analógicos e um sistema microcontrolado para adquirir e filtrar digitalmente os sinais captados por um microfone. Filtros digitais foram implementados para os sinais cardíacos, pulmonares e gastrointestinais. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no final deste trabalho.

## Materiais e métodos

O estetoscópio digital desenvolvido é formado por microfone, circuito de aquisição e condicionamento de sinal, microcontrolador e circuito de reconstrução de sinal, conforme ilustrado no diagrama em blocos apresentado na Figura 1.

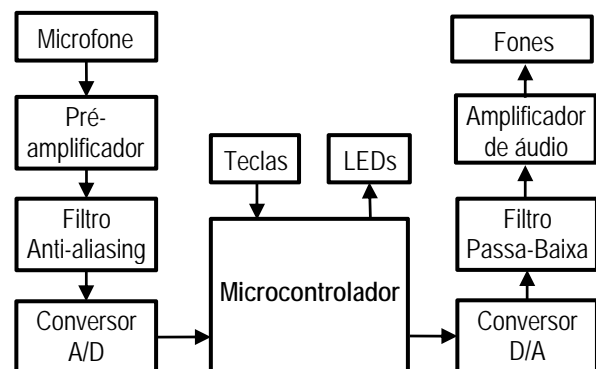


Figura 1: Diagrama em blocos do estetoscópio.

**Aquisição e condicionamento de sinais** – O som corporal é captado a partir de um transdutor colocado no orifício de uma pequena porção de tubo flexível conectado ao diafragma de um estetoscópio convencional. O transdutor utilizado foi o microfone de eletreto modelo

WM-61A, que proporciona uma sensibilidade de -35 dB na frequência de 1 kHz e opera numa faixa de frequências de 20 Hz a 20 kHz [6].

Para amplificar o sinal do microfone foi adotado o pré-amplificador MAX4468. Um potenciômetro foi utilizado para ajustar o ganho a fim adequar a sensibilidade do microfone. O sinal resultante deste dispositivo passa por um filtro *anti-aliasing* antes de entrar no conversor A/D. Trata-se de um filtro ativo de segunda ordem, do tipo *Butterworth*, com frequência de corte em 1 kHz, utilizando o amplificador operacional TLV274 em sua implementação.

O sinal proveniente do filtro *anti-aliasing* é convertido em palavras digitais através do conversor A/D MCP3201, com 12 bits de resolução e interface SPI (*Serial Peripheral Interface*). O conversor A/D do microcontrolador não foi utilizado devido a sua resolução ser de 10 bits apenas.

**Processamento digital** – O processamento digital do sinal adquirido foi realizado por meio do microcontrolador MSP430FR5739. Este dispositivo, que faz parte do kit de desenvolvimento MSP-EXP430FR5739 utilizado, se conecta ao conversor A/D para obter as amostras do sinal proveniente do microfone.

De acordo com as faixas de frequência dos sons cardíacos, respiratórios e gastrointestinais, três filtros digitais passa-faixa do tipo IIR (*Infinite Impulse Response*) foram projetados. Este tipo de filtro foi escolhido devido a menor complexidade computacional exigida, quando comparado com um filtro FIR (*Finite Impulse Response*) com desempenho semelhante [7-8].

A classe de filtros IIR tipo LWDF (*Lattice Wave Digital Filter*) foi adotada devido à baixa sensibilidade dos coeficientes, ao baixo ruído de arredondamento, ausência de oscilações parasitas e da simplicidade de implementação em microcontroladores [7][9]. Visando a utilização de microcontroladores de menor custo, que não possuem multiplicador por hardware, o algoritmo de Horner foi empregado para realizar as multiplicações.

As componentes espectrais dos sons corporais ocupam determinadas faixas de frequências. No caso dos sons cardíacos, a faixa de frequências típica vai 30 Hz até 400 Hz [10], enquanto que a faixa dos sons pulmonares é de, aproximadamente, 150 Hz até 1 kHz [11]. Os sons gastrointestinais estão situados em uma faixa de frequência de 100 Hz a 1 kHz [12].

A escolha das faixas de frequências para cada um dos filtros foi baseada nos dados encontrados na literatura. Para os sons cardíacos, foi projetado um filtro passa-faixa do tipo *Butterworth*, sendo necessário combinar um filtro passa-alta e um passa-baixa [7]. Para minimizar a componente de 60 Hz da rede elétrica, a frequência de corte inferior deste filtro ficou em 70 Hz. Como foi considerada a frequência máxima de 1 kHz para os sons respiratórios e gastrointestinais e devido a presença do filtro *anti-aliasing*, apenas filtros passa-alta foram implementados para estes sons.

Para o projeto dos filtros foi utilizado o software `wdf_coeff.exe`, fornecido pela Texas Instruments Incorporated. A partir dos parâmetros de entrada de cada

filtro, esta ferramenta fornece a ordem do filtro, os coeficientes  $\gamma$ , o tipo de cada estrutura e os coeficientes  $\alpha$  no formato binário e CSD (*Canonical Signed Digit*). A representação em CSD facilita a elaboração do código dos multiplicadores, os quais foram desenvolvidos em linguagem Assembly devido ao desempenho maior na execução do código quando comparado com um código em linguagem C equivalente. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados do projeto dos filtros.

Tabela 1: Parâmetros utilizados no projeto dos filtros, onde  $F_{pb}$ ,  $F_{sb}$  e  $F_s$  são as frequências da banda de passagem, de corte e de amostragem em Hz,  $R$  é o *ripple* em dB,  $A$  é a atenuação da banda de corte.

Filtro	Tipo	$F_{pb}$	$F_{sb}$	$F_s$	$R$	$A$
Coração	F.P.A.	110	70	1600	0,5	50
	F.P.B.	350	500	1600	0,5	50
Respirat.	F.P.A.	320	240	2560	0,5	50
Gastroint.	F.P.A.	180	100	2560	0,5	50

O sistema possui 3 teclas do tipo *push-button* conectadas ao microcontrolador, nas quais o usuário pode escolher o filtro de acordo com o tipo de som que deseja auscultar e aumentar ou diminuir o volume do som ouvido nos fones, enquanto que 3 leds são utilizados para indicar o filtro selecionado.

**Reconstrução do sinal processado** – O sinal digital resultante do filtro digital selecionado é enviado para o conversor D/A DAC121S101 de 12 bits que se conecta ao microcontrolador através de uma interface SPI. O sinal deste conversor passa por um filtro passa-baixa de segunda ordem do tipo *Butterworth* com frequência de corte de 1 kHz, semelhante ao filtro *anti-aliasing*, utilizando o mesmo amplificador TLV274. O sinal filtrado é amplificado para excitar fones de ouvido. O amplificador de áudio estéreo LM4811 foi utilizado.

## Resultados

O circuito de aquisição e condicionamento de sinais, e o circuito de reconstrução do sinal processado foram montados em uma placa de circuito impresso. Esta placa é conectada no kit de desenvolvimento do microcontrolador, o qual é alimentado por pilhas alocadas em uma caixa plástica. A Figura 2 mostra o sistema completo do estetoscópio, incluindo os fones de ouvido e diafragma conectados.

A resposta em frequência dos filtros foi avaliada com o uso de um gerador de funções programável. Um sinal senoidal com frequência variando de 10 Hz a 1 kHz foi sintetizado e conectado na entrada do filtro *anti-aliasing*. Um osciloscópio digital foi utilizado para obter a resposta em frequência do sinal na saída do filtro passa-baixa, após o conversor D/A. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam a resposta dos filtros dos sinais cardíacos, respiratórios e gastrointestinais, respectivamente.

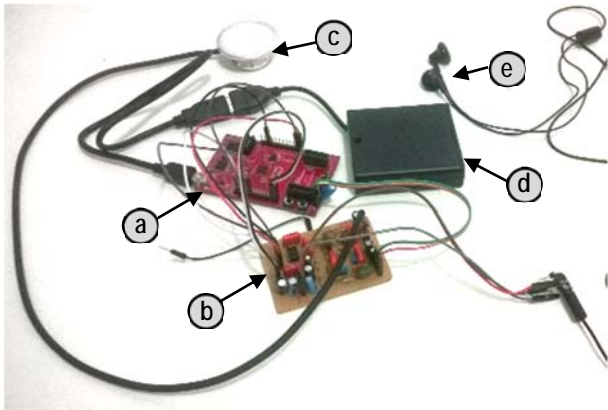


Figura 2: Estetoscópio digital implementado. (a) kit MSP-EXP430FR5739. (b) Placa com circuitos de aquisição, condicionamento e reconstrução de sinal. (c) diafragma com microfone. (d) alojamento com 4 pilhas AA. (e) fones de ouvido.

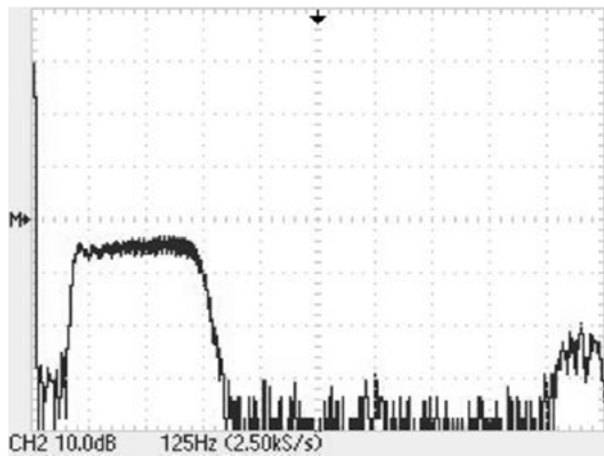


Figura 3: Resposta em frequência do filtro dos sons cardíacos.

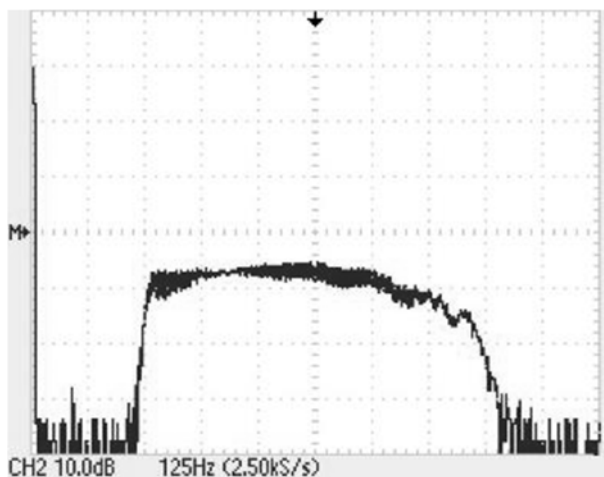


Figura 4: Resposta em frequência do filtro dos sons respiratórios.

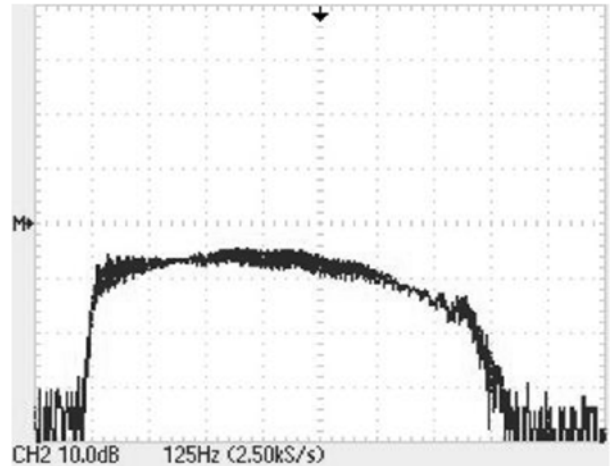


Figura 5: Resposta em frequência do filtro dos sons gastrointestinais.

Em um teste prático, aquisições dos sons cardíacos foram realizadas em um voluntário. Os sinais obtidos no domínio do tempo e da frequência são mostrados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

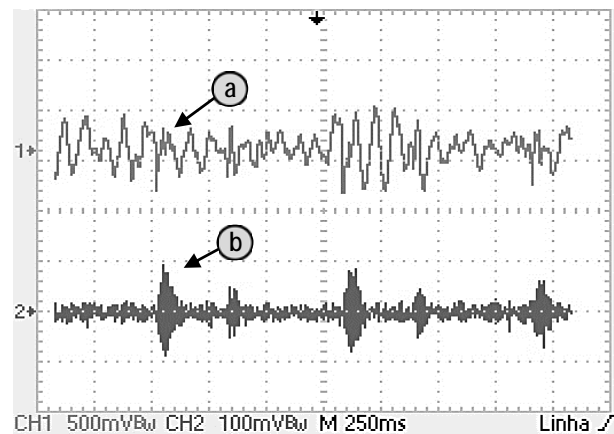


Figura 6: Sinal do som cardíaco medido no domínio do tempo. (a) sinal antes do filtro. (b) sinal filtrado.

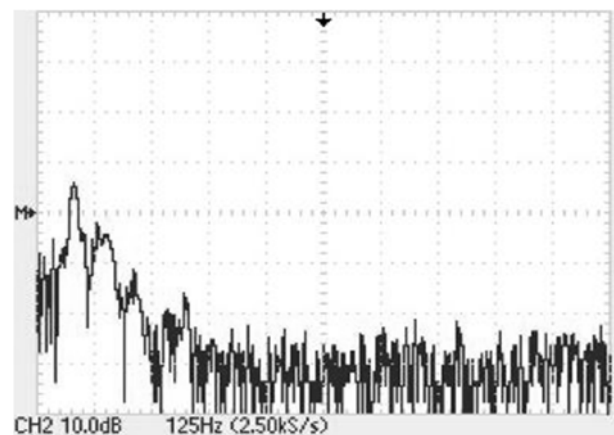


Figura 7: Sinal do som cardíaco filtrado medido no domínio da frequência.

## Discussão

A obtenção da resposta dos filtros desenvolvidos permitiu avaliar seu desempenho. Apesar das frequências de corte estarem de acordo com o projeto teórico dos filtros, foi possível observar interferências ao longo do espectro de frequências das respostas. Este efeito pode ser minimizado integrando-se o sistema em uma única PCI de pelo menos duas camadas, considerando um plano de terra.

Apesar dos testes demonstrando o funcionamento dos filtros e do sinal cardíaco ter ficado evidente na Figura 6, após o filtro, uma avaliação clínica qualitativa pode ser realizada como trabalho futuro, visando melhorar o desempenho do estetoscópio. Ainda, a frequência de corte inferior do filtro do som cardíaco pode ser reduzida para 30 Hz e um filtro corta-faixa na frequência de 60 Hz pode ser implementado para agregar componentes relevantes de baixa frequência no sinal filtrado.

## Conclusão

Um estetoscópio digital microcontrolado foi desenvolvido para a auscultação de sons cardíacos, respiratórios e gastrointestinais. Circuitos de aquisição e condicionamento de sinais, filtros digitais e circuito de reconstrução de sinais foram implementados. Os testes realizados permitiram comprovar o funcionamento dos filtros.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR – Câmpus Pato Branco, ao Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica e Bioeletromagnetismo (GPEBB), a Direção de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG) e ao Departamento de Elétrica (DAELE) desta mesma instituição pelo apoio.

## Referências

- [1] Haibin, Wang, et. al. Heart sound analysis based on autoregressive power spectral density. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Signal Processing Systems of the IEEE Signal Processing Society; 2010 Jul 5-7; Dalian, China. 2010. p. V2-582 - V2-586.
- [2] Garcia, Eduardo A. C. Biofísica. 1<sup>a</sup> Ed. São Paulo: Sarvier; 2002.
- [3] Haibin, Wang, et. al. Heart sound analysis based on autoregressive power spectral density. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Biomedical Engineering and Informatics of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2009 Oct 17-19; Tianjin, China. 2009. p. V2-582 - V2-586.
- [4] Igarashi, Massaki de Oliveira. Utilização de Filtros para Remoção de Interferência de Sinais de Eletrocardiograma [monografia]. Campinas: Universidade Presbiteriana Mackenzie; 2007.
- [5] Louzada, Daniel R. Desenvolvimento de um transdutor de pressão de alta sensibilidade, baseado no fenômeno de Magnetoimpedância Gigante, para aplicação biomédica [dissertação]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2009.
- [6] Panasonic. Omnidirectional Back Electret Condenser Microphone Cartridge. Folha de dados. Panasonic Corp.
- [7] Texas Instruments (2006). Wave Digital Filtering Using the MSP430. Application Report. Texas Instruments Inc.
- [8] Quêlhas, Maurício F. Projeto de filtros IIR por mapeamento de pólos e zeros [tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2010.
- [9] Yli-Kaakinen J., Saramäki, T. A Systematic Algorithm for the Design of Lattice Wave Digital Filters With Short-Coefficient Wordlength. IEEE Transactions on Circuits and Systems - I. 2007; 54(8): 1838-51.
- [10] Gretzinger DTK. Analysis of Heart Sounds and Murmur by Digital Signal Manipulation [tese]. Canada: University of Toronto; 1996.
- [11] Gavriely N, Nissan M, Rubin AH, Cugell DW. Spectral characteristics of chest wall breath sounds in normal subjects. Thorax. 1995; 50(12): 1292-300.
- [12] Mansy HA, Richard HS. Bowel-sound signal enhancement using adaptive filtering. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. 1997; 16(6): 105-17.