

# SISTEMA MICROCONTROLADO PARA AQUISIÇÃO DE BIOSINAIS COM AJUSTE AUTOMÁTICO DE GANHO E DE DESLOCAMENTO CC

Renato W. Dallagasperina\*, Paulo S. C. Molina\*, Amauri F. Balotin\*

\*Curso de Engenharia Elétrica/ Faculdade de Engenharia e Arquitetura / Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil  
e-mail: amauribalotin@upf.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta sistema de aquisição de dados, baseado em um circuito de aquisição de biosinais genérico, o qual pode ser utilizado em pesquisas onde o objetivo não está centrado no desenvolvimento de um sistema de aquisição mas sim em trabalhar com o tratamento destes. Cuidados essenciais com a segurança foram contemplados no trabalho, e para que o hardware proposto fosse genérico um estágio de amplificação e deslocamento CC automático foi implementado, garantindo a mesma uniformidade no tratamento de sinais com magnitudes diferentes. Com a proposta de portabilidade do hardware, a alimentação de todo o circuito foi desenvolvida utilizando como fonte uma simples porta USB. O hardware proposto utiliza componentes comuns, como microcontroladores, memória SRAM, amplificadores operacionais entre outros, os quais são componentes de fácil obtenção e com custo reduzido. Por fim, demonstrou-se que o sistema desenvolvido foi capaz de adquirir sinais com frequência máxima de amostragem de 11kHz.

**Palavras-chave:** Aquisição, Automático, Biosinais, Microcontrolador.

**Abstract:** *This work proposes a generic, low cost and portable biosignal acquisition circuit, for biosignals research. Essential Security Care were contemplated. To ensure uniformity in the treatment of the different magnitudes biosignals, an automatic amplification and DC offset were implemented. For portability, the power source of the circuit was a simple USB port. The circuit uses ordinary and inexpensive components, such as microcontrollers, SRAM memories and operational amplifiers. Finally, it was demonstrated that the system was able to acquire signals with a maximum sampling frequency of 11kHz.*

**Keywords:** *Acquisition, Automatic, Biosignals, Microcontroller.*

## Introdução

Os biosinais são sinais de origem biológica, produzidos por todos os seres vivos desde o nível celular. Estes sinais podem ter origem elétrica, mecânica ou química. As principais unidades geradoras dos sinais bioelétricos são as células nervosas e musculares, entretanto, estas não funcionam individualmente, mas em grandes agrupamentos [1,2]. Ainda, estes sinais são

particularmente importantes, pois os mesmos são utilizados no auxílio ao diagnóstico de patologias.

Os músculos, olhos, coração e cérebro geram sinais bioelétricos que podem ser registrados por aparelhos específicos, resultando em seus respectivos sinais: eletromiograma (EMG), eletrooculograma (EOG), eletrocardiograma (ECG) e eletroencefalograma (EEG) [1,2].

Além disso, invariavelmente, os sinais bioelétricos possuem amplitudes muito pequenas, quando comparados aos sinais envolvidos em nosso cotidiano [1]. Sendo assim, para que a leitura e tratamento destes sinais sejam possíveis, faz-se necessário o condicionamento prévio dos mesmos[2].

Com isso, o presente trabalho teve como objetivo construir uma plataforma de aquisição (*hardware*) de dados capaz de adquirir diferentes tipos de sinais bioelétricos e condicioná-los de forma automática para a melhor utilização possível da faixa de conversão do conversor Analógico-Digital (A/D). Também foi desenvolvido um software de interface com usuário, o qual ilustra o sinal que está sendo adquirido em tempo real e, ao fim da aquisição, disponibiliza os dados em forma de arquivo texto.

## Materiais e Métodos

A Figura 1 mostra o diagrama em blocos do circuito proposto. Nele são mostrados os principais estágios envolvidos no projeto. Por simplicidade, a fonte de alimentação não está representada neste diagrama, mas ela foi desenvolvida utilizando a alimentação da porta USB. Alguns componentes presentes na fonte são: LM2577, ICL7660 e o DCP020515DP.

O primeiro estágio do circuito é responsável pela amplificação e deslocamento CC do sinal de entrada. O segundo estágio, referente ao microcontrolador I é responsável pelo controle do estágio de ganho e deslocamento CC e também pela digitalização do sinal bioelétrico e gravação da amostra digitalizada na memória SRAM. Para cada amostra gravada na memória uma sinalização é enviada para o microcontrolador II. No terceiro estágio, a memória SRAM tem a função de buffer, possibilitando que a digitalização do sinal bioelétrico não seja interrompida. No quarto estágio, para cada sinalização recebida do microcontrolador I, o microcontrolador II busca uma amostra na memória SRAM e a transmite via

barramento USB para o software supervisor (quinto estágio).

Os estágios descritos acima serão expostos com maiores detalhes a seguir.

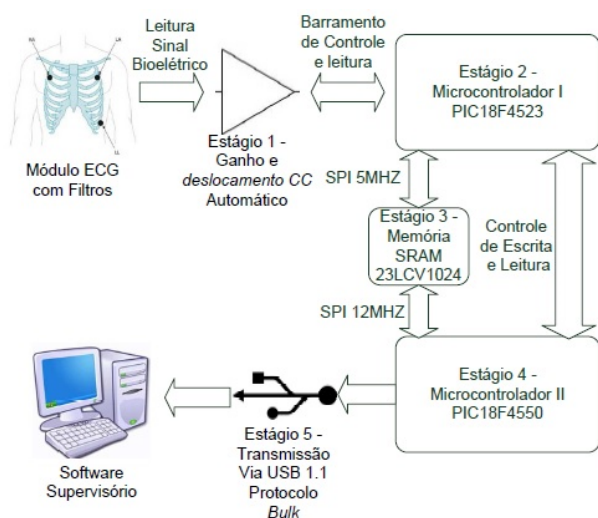


Figura 1: Diagrama em blocos do circuito proposto.

A construção do circuito de aquisição do sinal de ECG não fez parte deste trabalho, contudo, para fins de avaliação, poderia ser utilizado um sistema para aquisição de ECG baseado na configuração com três eletrodos, como sugerido na Figura 1. Para realização dos testes, tanto do *hardware* quanto do *software* supervisor, foi utilizado um gerador de ondas arbitrárias capaz de simular sinais de ECG em uma ampla faixa de frequências e amplitudes.

É importante destacar que quando se desenvolvem projetos de equipamentos biomédicos, ou para aquisição de biosinais, existe uma série de normas que precisam ser observadas, com intuito de garantir a segurança de pacientes e usuários destes equipamentos. Neste caso a norma seguida foi a ABNT NBR IEC 60601-1:2010. Para atender esta norma, foi utilizado o amplificador isolador de precisão ISO124, que tem a função de isolar eletricamente o sinal bioelétrico, provindo do módulo ECG, do restante do circuito. Além disto, foi também utilizado um conversor DC-DC isolador DCP020515DP, o qual tem a função de alimentar todas as partes do circuito que necessitam estarem isoladas eletricamente do restante do circuito.

O objetivo principal do trabalho foi desenvolver uma plataforma de aquisição que permitisse realizar a aquisição de diversos tipos de sinais bioelétricos independentemente de sua fonte geradora e de suas características (frequência e amplitude). Dessa forma, deseja-se que o sistema possua a capacidade de ajustar o ganho dos amplificadores e o nível de deslocamento CC de forma automática, ou seja, que o mesmo consiga identificar os valores máximos e mínimos do sinal de entrada e aplique automaticamente ganhos e deslocamentos CC necessários para que o sinal fique na faixa desejada. O conjunto responsável pela amplificação automática é composto por amplificadores

operacionais (TL072) na configuração diferencial, potenciômetros digitais (MAX5451) e um microcontrolador (PIC18F4523). O *firmware* desenvolvido digitaliza várias amostras do sinal de entrada e encontra o seu valor máximo e mínimo. Com estes valores o *firmware* segue uma rotina de cálculo, ajuste de ganho e deslocamento CC para atingir a faixa desejada, entre 0,5V e 4,5V. As faixas entre 0 e 500mV e entre 4,5 e 5V foram reservadas para possíveis ruídos ou até mesmo deslocamento de linha de base, comuns em biosinais. Após o ajuste ser executado, a digitalização do sinal bioelétrico é realizada sem interrupções. Para o estágio de digitalização (estágio 2 na Figura 1) do sinal bioelétrico, utilizou-se o conversor A/D do PIC18F4523 com disparo automático via módulo CCP. O conversor A/D possui resolução de 12 bits ou 1,22mV, considerando a faixa de trabalho de 0 a 5V.

Após cada digitalização, a amostra é gravada na memória SRAM 23LCV1024 via barramento SPI (estágio 3 na Figura 1) a uma frequência de *clock* de 5MHz.

O gerenciamento de utilização da memória SRAM externa é feito através do contador TIMER0 do PIC18F4550. A cada amostra gravada na memória, o PIC18F4523 gera um pulso no pino TOCKI do PIC18F4550, incrementando o contador. Através de comparações o PIC18F4550 identifica se existe alguma amostra para ser lida na memória SRAM. Em caso positivo ele faz a leitura via barramento SPI (12MHz) e envia a amostra via barramento USB para o software supervisor (estágio 4 na Figura 1). Este controle faz com que a leitura da memória seja sequencial, ou seja, o segundo microcontrolador só busca a informação na memória se esta existir. O segundo microcontrolador trabalha com uma frequência maior no barramento SPI para garantir que irá desocupar a memória antes do término da próxima conversão A/D executada pelo primeiro microcontrolador.

Além deste controle, também existe um segundo controle feito por pinos de I/O comuns, dois em cada microcontrolador, para sinalizar quando a memória está em uso. Como os dois microcontroladores acessam a mesma memória, isto é necessário para impedir que ambos tentem acesso ao mesmo tempo.

O PIC18F4550 possui um *transceiver* USB acoplado, podendo trabalhar nas configurações 1.0 (1.5Mbps), 1.1 (12Mbps) e 2.0 (480Mbps). Este microcontrolador também aceita os quatro protocolos de comunicação USB, que são: *Control*, *Interrupt*, *Bulk* e *Isócronos*. Neste trabalho foram utilizadas as seguintes configurações: velocidade de 12Mbps (1.1) e os protocolos de comunicação *Control*, para a transmissão de informações de configuração para o sistema operacional (*Driver*) e *Bulk* na transmissão das amostras digitalizadas. O protocolo *Bulk* foi escolhido por apresentar maior confiabilidade. Ele possui sistemas de “*handshaking*” para garantir o envio e recebimento correto das informações. Após ler uma amostra na

memória SRAM, o PIC18F4550 envia esta informação ao *software* supervisor.

Para a visualização das amostras convertidas e futuro tratamento destas informações foi desenvolvido o *software* supervisor, utilizando a ferramenta *LabVIEW 2012* da *National Instruments*, com licença gratuita temporária para estudante. Esta ferramenta foi escolhida pela facilidade de desenvolvimento. Toda a funcionalidade disponível é relatada a seguir. Neste supervisor a frequência de amostragem pode ser escolhida, os valores de ganho e deslocamento CC aplicados no sinal original são mostrados, os valores das amostras são visualizados em formato hexadecimal, um gráfico com o sinal amostrado é plotado e os valores das amostras são armazenados em um arquivo texto.

## Resultados

A Figura 2 mostra um gráfico plotado utilizando a ferramenta *LabVIEW 2012*. A Figura 3 mostra uma faixa da amostra plotada, utilizando os valores salvos em arquivo texto. Na vertical destes gráficos, a amplitude é um valor de 0 a 4095, correspondente ao valor convertido no A/D de 12 bits.



Figura 2: Plotagem do sinal bioelétrico no supervisor desenvolvido com o *LabVIEW 2012*.

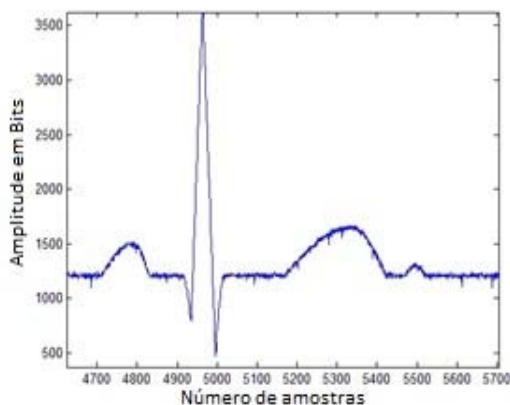


Figura 3: Plotagem do sinal bioelétrico utilizando as amostras salvas em arquivo texto.

A máxima frequência de amostragem alcançada com o sistema foi 11 kHz, com amostras com resolução de 12 bits.

Pode-se notar na Figura 3 a existência de um nível de ruído indesejado. Este ruído foi gerado pela fonte de alimentação isolada utilizada, mais precisamente o conversor DC-DC DCP020515DP. Este circuito integrado trabalha com chaveamento e acabou gerando este ruído.

O ajuste automático de ganho e deslocamento CC funcionou corretamente, suportando sinais de entrada na faixa de -5V a +7V, condicionando o sinal para a faixa desejada, de 0,5V a 4,5V.

Para a realização dos testes mostrados a seguir foi utilizado um gerador de sinais da Agilent, modelo 33120A, o qual é capaz de simular um sinal de ECG com frequência variável. Neste teste a frequência do gerador foi ajustada para 10Hz com 2V de pico a pico.

A Figura 4 mostra o sinal obtido na saída do ISO124. Pode-se notar que a tensão de pico negativa é de -500mV (2) e a tensão de pico positiva é de 1,57V (1).

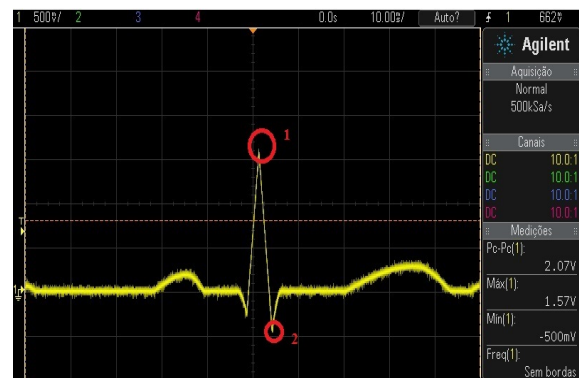


Figura 4: Sinal ECG Gerado. (1) Tensão de pico positiva de 1,57V. (2) Tensão de pico negativa de -500mV. Escala V.: 500mV/div. Escala H.: 10ms/div.

A Figura 5 apresenta o resultado após amplificação e deslocamento CC automático (estágio 1 ilustrado na Figura 1).



Figura 5: Sinal ECG após amplificação e deslocamento CC automático. (1) Tensão de pico positiva deslocada para 4,47V. (2) Tensão de pico negativa deslocada para 490mV. Escala V.: 500mV/div. Escala H.: 10ms/div.

## Discussão

Analisando os resultados expostos, pode-se observar que o sistema proposto funciona da maneira esperada.

A fonte de alimentação desenvolvida utiliza a tensão de 5VCC fornecida pela própria porta USB e disponibiliza tensões simétricas isoladas e não isoladas em sua saída. Neste ponto cabe ressaltar dois resultados indesejados, mas que não interferiram no circuito final. Primeiramente, como o circuito integrado DCP020515DP trabalha com chaveamento, isto introduziu um nível de ruído na alimentação e, em segundo lugar, pode-se ressaltar que o circuito integrado ICL7660 tem como ponto negativo a sua limitação em relação à corrente máxima de saída suportada, que é de 40mA.

Ainda, analisando o segundo estágio do sistema de aquisição, verificou-se que o *firmware* elaborado para o microcontrolador PIC18F4523 controla de forma automática o condicionamento de ganho do sinal, e com isto conseguiu-se levar o sinal de entrada a um nível em que pode-se aproveitar ao máximo a faixa de conversão de tensão que o conversor A/D trabalha, neste caso de 0 a 5V.

A transmissão dos dados entre os microcontroladores, utilizando uma memória SPI, funcionou perfeitamente, mesmo possuindo dois dispositivos mestres concorrendo no acesso à memória. A gravação é feita pelo microcontrolador PIC18F4523 e a leitura é feita pelo microcontrolador PIC18F4550 sem problemas e sem perda de dados.

A transmissão destes dados via barramento USB permitiu que se fosse alcançada uma taxa de amostragem elevada, pois possibilita uma velocidade maior de transmissão de dados quando comparada com outros meios como, por exemplo, a comunicação serial.

A interface com o usuário desenvolvida permite a visualização do gráfico em tempo real, e disponibiliza os valores lidos de forma numérica se o usuário desejar tratar estes dados em outro software.

## Conclusão

Pode-se concluir que o sistema para aquisição de biosinais apresentado neste trabalho tem grande valor em pesquisas onde o foco não é desenvolver um dispositivo para a aquisição, mas sim desenvolver estudos para o tratamento de biosinais.

Cabe ressaltar que, para construção e desenvolvimento do protótipo, foram utilizados circuitos integrados e componentes eletrônicos de baixo valor e de fácil obtenção e, mesmo assim, obteve-se um sistema capaz de fazer a digitalização de sinais com diferentes níveis de tensão e frequência. Com a frequência de amostragem alcançada, 11 kHz, de acordo com o Teorema de Nyquist, consegue-se digitalizar sinais de até 5,5 kHz. Apesar disto, para garantir uma melhor qualidade no sinal amostrado recomenda-se o uso de uma frequência de amostragem ao menos dez vezes maior que a frequência do sinal original [3].

## Referências

- [1] Cruz, C. P. T, Medidas e Análise Estatística em Sinais Bioelétricos sobre Pontos de Acupuntura [dissertação]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2007.
- [2] Bronzino, J. D, The Biomedical Engineering Handbook. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2000.
- [3] Enderle, J.; Bronzino, J, Intoduction to Biomedical Engineering. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2012.