

PROPOSTA DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA EM CURSOS DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA. II. O MÓDULO DIDÁTICO DE EEG

Robson Adur – robson@ieb.ufsc.br

Eduardo Andrighetto – andrighetto@ieb.ufsc.br

Juliano E. Rathke – rathke@ieb.ufsc.br

Paulo Possa – possa@ieb.ufsc.br

Felipe C. Santos – felipe@ieb.ufsc.br

Fernanda I. M. Argout, Dr – fargout@ieb.ufsc.br

Fernando M. de Azevedo, Dr – azevedo@ieb.ufsc.br

José Marino-Neto, DSc – marino@ieb.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina - Instituto de Engenharia Biomédica
UFSC Trindade, Campus Universitário.
CEP 88040-900 - Florianópolis - SC

***Resumo:** Este trabalho apresenta uma proposta para o desenvolvimento de um módulo de ensino de sinais de eletroencefalografia (EEG) de uma plataforma didática destinada ao suporte à aprendizagem prática de Engenharia Biomédica em cursos de graduação de engenharia elétrica. Esta plataforma, denominada Sistema de Processamentos de Sinais Biomédicos – Módulo Didático, ou SPSB-MD, inclui ferramentas de hardware e software para o estudo das características especiais dos sinais bioelétricos para estudantes de graduação em engenharia elétrica e profissionais biomédicos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de solução de módulo didático para estudo das características de sinais de EEG para implementação futura desta plataforma.*

***Palavras-chave:** Ensino de engenharia biomédica, Sistema didático, Eletroencefalograma, Módulo didático de eeg.*

1 INTRODUÇÃO

A criação de disciplinas em Engenharia Biomédica nos cursos de Engenharia Elétrica, em níveis de graduação e pós-graduação procura atender à percepção, pelas lideranças científicas na área, de um enorme mercado para os egressos em Engenharia Elétrica, ao atuar na busca por soluções tecnológicas nas áreas da saúde.

O ensino de Engenharia Biomédica depende de um conjunto de conteúdos ministrados em outras disciplinas clássicas (usualmente aplicados em áreas também “clássicas” da Engenharia Elétrica). No entanto, os sinais e sistemas na área da saúde possuem características particulares que devem ser contempladas na área biomédica. Além disso, dada

a natureza eminentemente aplicada desta disciplina, estes conhecimentos e particularidades devem ser tratados de maneira prática, por meio de abordagens pedagógicas que privilegiem uma vivência com o “fazer” na área (ANDRIGHETTO et al, 2007).

No entanto, parece existir um descompasso entre a percepção da grande relevância e oportunidade da área de Engenharia Biomédica e a estrutura dos currículos em Engenharia Elétrica no país. São raras as disciplinas que abordam as particularidades desta área de forma sistemática e prática nos cursos regulares de graduação, o que contrasta com a demanda por disciplinas nesta área, em especial, por parte dos alunos na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Neste curso, por exemplo, existem duas disciplinas que tratam de conteúdos nesta área: “Fundamentos de Engenharia Biomédica” e “Introdução à Informática Médica”, as quais apresentam a expressiva demanda de 20 alunos/ semestre, em média (ANDRIGHETTO et al, 2007).

O principal objetivo deste trabalho tem como meta preencher a lacuna existente nas disciplinas de Engenharia Biomédica, em cursos de graduação e programas de pós-graduação em Engenharia Elétrica, com relação à formação essencialmente prática do aluno nos conteúdos de processamento digital de sinais bioelétricos, através do desenvolvimento de uma plataforma para aprendizagem (ANDRIGHETTO et al, 2007). Esta plataforma permitirá a aplicação prática de conceitos sobre a aquisição, digitalização e visualização de sinais de eletroencefalograma (EEG), podendo ser expandido a outros tipos de sinais bioelétricos. Em nível de *hardware* e de sistema, espera-se possibilitar o estudo de estruturas internas de circuitos presentes na aquisição destes sinais, aos alunos de graduação em Engenharia Elétrica da UFSC.

Nesta primeira etapa de desenvolvimento, os produtos desenvolvidos neste laboratório serão utilizados, validados e testados pelo curso de Engenharia Elétrica da UFSC nas disciplinas citadas anteriormente. Em seguida propõe-se disponibilizar e/ou adaptar para outras disciplinas e/ou instituições.

Neste sentido, este artigo descreve as etapas de desenvolvimento do *hardware* do módulo de ensino e pesquisa de sinais de EEG (Módulo de EEG) do Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos – O Módulo Didático (SPSB-MD).

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A implantação deste laboratório surgiu da necessidade de aprimorar o ensino dos aspectos anteriormente citados, nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica, de conteúdos específicos da Engenharia Biomédica no Brasil. Além disso, espera-se propiciar um tratamento sistemático e de natureza prática dos aspectos específicos da Engenharia Biomédica, também na formação pós-graduada *latu e/ou strictu sensu* de engenheiros clínicos, engenheiros biomédicos, cientistas da computação e *staff* nas áreas biomédicas que lidam com tecnologia (enfermeiros, técnicos, pessoal de apoio) (ANDRIGHETTO et al, 2007).

Além dos aspectos referentes à melhoria do aprendizado dos alunos de disciplinas de engenharia biomédica, os pesquisadores e pós-graduandos do IEB poderão utilizar o SPSB-MD em pesquisas estudos e pesquisas de particularidades de sinais de EEG. Espera-se a partir disto, atingir um avanço na qualidade dos dados colhidos, que atualmente são obtidos por meio de equipamentos comerciais empregados na área clínica, que nem sempre possuem os recursos necessários para atender as necessidades da pesquisa.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ASSUNTO

O eletroencefalograma (EEG) constitui-se no registro das atividades elétricas geradas pelo encéfalo. Um exemplo importante de utilização desse exame é o diagnóstico de diferentes tipos de epilepsia e a busca dos focos que a causam. Além disso, pode ser utilizado

para localização de tumores cerebrais ou lesões volumosas, no diagnóstico de determinados tipos de doenças mentais e na polissonografia (GUYTON, 1992). A intensidade das atividades elétricas denominadas ondas cerebrais, quando medidas através do escalpo, possuem pequena amplitude de aproximadamente 100 μ V. As frequências destas ondas cerebrais se apresentam na faixa de 0,5 a 100Hz e sua característica é altamente dependente do grau de atividade do córtex cerebral (WEBSTER, 1998).

Para a captação dos sinais de EEG, são utilizados eletrodos, que são os elementos usados para realizar a captação dos sinais bioelétricos, atuando como transdutores que transformam uma corrente iônica (no organismo) em uma corrente elétrica (no sistema medidor) (IAIONE, 2003).

Nos registros clínicos de EEG, vários eletrodos são dispostos de forma superficial sobre diferentes partes do escalpo, geralmente respeitando o padrão internacional “10-20”. A utilização de eletrodos de superfície é considerada a maneira mais apropriada para a captação dos sinais de EEG em ambientes externos aos ambientes assistenciais de saúde, sendo esta a forma indicada para utilização em instituições de ensino.

4 METODOLOGIA DE TRABALHO

Os diferentes elementos que irão compor o SPSB-MD estão em desenvolvimento por uma equipe de pós-graduandos do IEB-UFSC, sendo que o Módulo de EEG representa um destes elementos que compõe o sistema completo e está sendo desenvolvido por um dos alunos do grupo.

Considera-se o Módulo de EEG um kit didático destinado à formação e capacitação em características dos sinais de EEG que complementa o espectro de conhecimentos de sinais bioelétricos em Engenharia Biomédica. Por sua vez, denomina-se “kit” ao conjunto de *hardware*, *software* e roteiros (tutoriais) de aulas práticas, que terão como objetivo desenvolver habilidades desejáveis na área, tais como reconhecimento, compreensão, desenvolvimento e operação de mecanismos de aquisição, filtragem, amplificação, digitalização e tratamento de sinais de relevância biomédica.

Estes kits estão sendo desenvolvidos utilizando-se:

- Recursos de *hardware*, que representam os componentes físicos do sistema de aquisição de sinais de EEG;
- Recursos de *software*, composto de um *firmware* presente em uma pastilha microcontroladora e um sistema para visualização e análise dos sinais adquiridos;
- Roteiro de experimentos e documentação do sistema em formato impresso e virtual.

A distinção que qualifica este equipamento como “didático” é dada pelo baixo nível de integração dos componentes dos circuitos. Neste contexto, são disponibilizados ao usuário “pontos de acesso” aos circuitos internos onde se permite testar/alterar parâmetros, ou mesmo substituir integralmente circuitos específicos do módulo.

4.1 Descrição do Módulo de EEG

O estudo dos sinais de EEG possui importância considerável na formação de profissionais da Engenharia Biomédica que atuam no campo de aplicação de Neurofisiologia. Entretanto, devido à particular baixa relação sinal-ruído estes sinais são susceptíveis a ruídos de diversas origens, o que torna crítica a implementação de circuitos eletrônicos de aquisição. Além disto, a obtenção de uma base de dados confiável de sinais de EEG demanda um maior investimento de tempo e recursos financeiros.

O Módulo de EEG proposto consiste em um *hardware* para aquisição e condicionamento analógico de até seis (06) canais de sinais de EEG de superfície. Este módulo interage através

de interfaces analógicas e de alimentação com outro elemento denominado Módulo Base. A função central do Módulo Base é realizar a conversão Analógico/Digital dos sinais de EEG, armazenar em *buffer* e transmitir via barramento serial universal para um microcomputador instalado próximo ao SPSB-MD. Neste microcomputador deve estar instalado um sistema de visualização de sinais biomédicos que não é objeto de estudo deste artigo.

A interação do Módulo de EEG com o Módulo Base e com o microcomputador com sistema de visualização de sinais bioelétricos é delineado na figura abaixo.

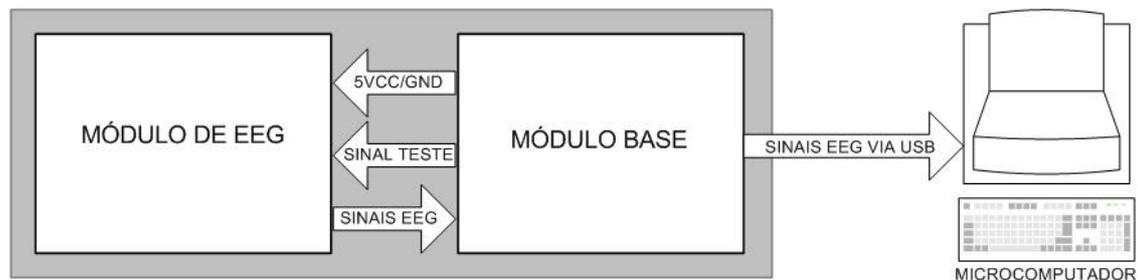


Figura 1 – Interação entre Módulo de EEG, Módulo Base e Microcomputador.

Uma vez que o sinal de EEG tenha sido adquirido, inicialmente passará pela etapa de condicionamento, no Módulo de EEG. Entende-se por condicionamento o tratamento inicial dado ao sinal para que este apresente condições de ser corretamente processado pelo sistema.

O condicionamento é realizado por um circuito com estágios definidos, sendo eles: filtro passa-baixas, amplificador de instrumentação, filtro passa-altas, filtro passa-baixas, filtro *notch*, amplificador de ganho e *offset* e *buffer*. Espera-se com a sintetização destes filtros, encontrar uma rede que produza uma resposta adequada (no tempo ou na frequência) para uma dada excitação de entrada (NOCETI, 2003).

O primeiro filtro passa-baixas consiste em um circuito tipo RC de primeira ordem, cuja função é eliminar os sinais de rádio-frequência que atingem os cabos dos eletrodos e eventualmente podem introduzir erros na saída do amplificador de instrumentação (WEBSTER, 1998).

O segundo estágio é formado por um amplificador de instrumentação, cuja função é realizar a primeira amplificação do sinal captado pelos eletrodos, apresentando as características necessárias de alta impedância em modo diferencial (WEBSTER, 1998).

Seguindo, o terceiro estágio caracteriza-se por um filtro ativo do tipo passa-altas de segunda ordem que possui a função particular de eliminar as baixas frequências do sinal de EEG, como por exemplo o potencial de meia-célula dos eletrodos.

Após a filtragem das baixas frequências, vem o filtro do tipo ativo de segunda ordem que realiza a filtragem de altas frequências indesejáveis na medição.

Em seguida, é colocado um filtro do tipo *notch* configurado para realizar a atenuação de sinais próximos às frequências de 60Hz que representam a frequência da rede elétrica e comumente geram interferências em equipamentos eletrônicos.

O estágio seguinte consiste em um amplificador que garante os níveis adequados de amplitude do sinal para a aquisição da pastilha microcontroladora centrada no Módulo Base. E o último estágio presente no Módulo de EEG é um amplificador seguidor, popularmente conhecido por *buffer*. A função deste circuito é garantir que distúrbios eletromagnéticos radiados ou então descargas elétricas causadas por inoperâncias do usuário do Módulo de EEG venham a propagar ruídos ou interferências eletromagnéticas ao Módulo Base. Uma figura ilustrativa da cadeia de condicionamento é ilustrada abaixo.

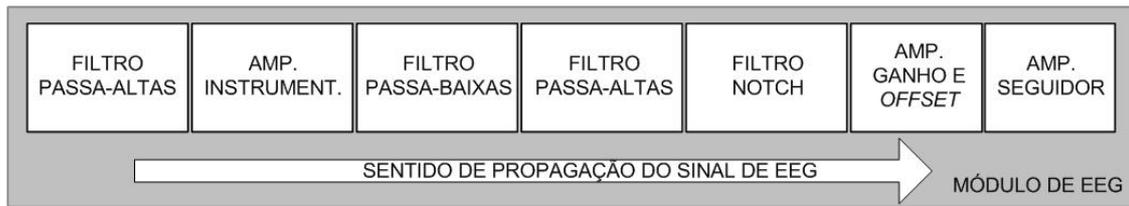


Figura 2 – Cadeia de condicionamento de sinais de EEG.

Para facilitar a identificação física dos circuitos no Módulo de EEG, e desta maneira melhorar o entendimento do aluno, os circuitos de condicionamento foram dispostos na placa de circuito impresso de maneira semelhante ao sentido de propagação do sinal bioelétrico e da forma mais próxima possível da disposição dos componentes no esquemático. Para isto, priorizou-se a utilização de modelos de componentes com apenas um amplificador operacional por encapsulamento. Assim o circuito pode ser disposto linearmente na placa. Na figura abaixo, retirada do projeto da placa do circuito impresso, apresenta-se uma representação gráfica da disposição dos componentes físicos que formam os circuitos de condicionamento de uma das seis das cadeias de condicionamento presente no Módulo de EEG.

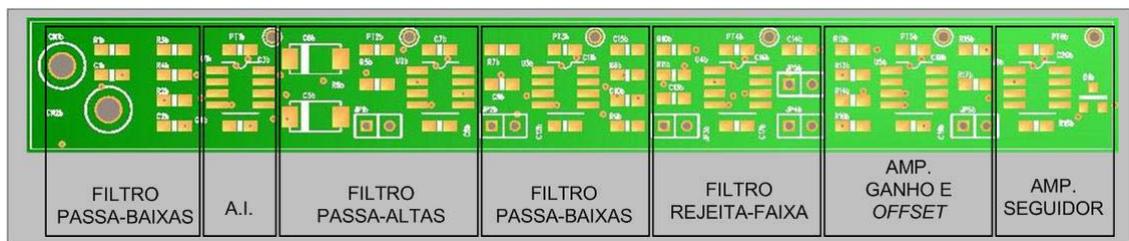


Figura 3 – Disposição dos circuitos na placa de circuito impresso.

Além dos aspectos relacionados à disposição dos componentes na placa de circuito impresso, está presente na primeira das seis cadeias de condicionamento, uma serigrafia esquemática de conexão dos componentes. Nesta serigrafia, é possível identificar a topologia de cada um dos circuitos implementados, conforme pode ser conferido na figura a seguir.

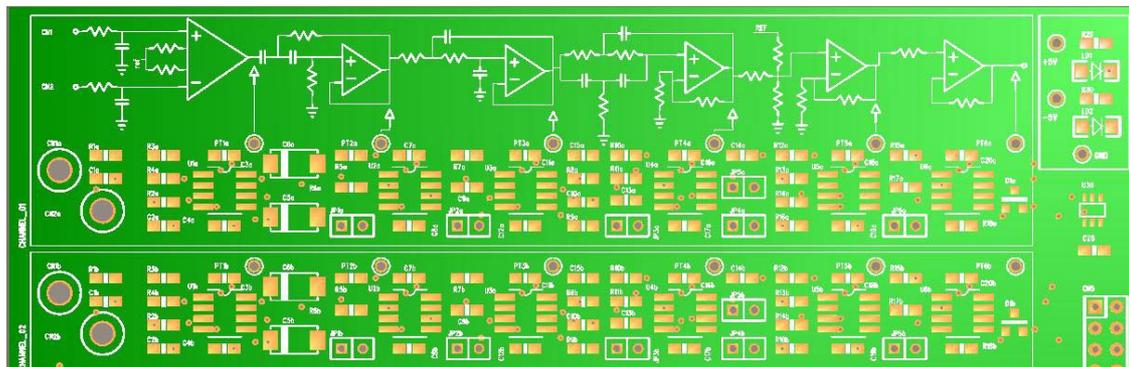


Figura 4 – Serigrafia do primeiro canal de condicionamento de EEG.

Este desenho na placa, favorece ao usuário identificar os pontos de testes presentes, cujo objetivo é acompanhar a propagação do sinal durante todo o processo de condicionamento.

Salienta-se que, diferentemente dos equipamentos de aquisição de sinais de EEG direcionados para a utilização clínica, o Módulo de EEG permite ao usuário tenha acesso, através de osciloscópio, a pontos específicos de medição, localizados após cada um dos estágios de filtragem e amplificação.

A medição em estágios intermediários da cadeia de condicionamento é importante, pois facilita a identificação de alguma particularidade do sinal de EEG, frente ao sinal apresentado no sistema de visualização. A partir disto, é possível ao usuário que identificar necessidade de alteração de algum parâmetro dos circuitos de condicionamento, faça isso corretamente. Esta propriedade tem o objetivo de favorecer o estudo aprofundado de alguma faixa específica de frequências do sinal de EEG em estudo, por exemplo.. Estes parâmetros são: banda de passagem de filtros, ganhos de amplificadores e deslocamentos contínuos, alterados por meio de variações e/ou substituições de resistências e capacitâncias dos circuitos, aos quais o usuário possui acesso. Demais alterações que afetem a compatibilidade do Módulo de EEG com o Módulo Base, porventura causando danos aos equipamentos ou expondo o usuário a riscos de choque elétrico, são desaconselhadas ao usuário através de documentações, roteiros de aula prática e indicações no próprio *hardware*.

Após a etapa de condicionamento, os sinais de EEG adquiridos são enviados analogicamente para o Módulo Base, onde ocorre a etapa de digitalização dos sinais. Ou seja, as tarefas de amostragem, quantização e codificação são implementadas, para que o educando entenda como se dá a digitalização de um sinal de EEG.

Por fim, os sinais de EEG já digitalizados são organizados em arquivos de *streaming*, para posterior transmissão a um computador, onde serão visualizados e processados por software, se for o caso.

5 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A partir do exposto, pretende-se ressaltar a complexidade da implementação de sistemas didáticos para ensino de Engenharia Biomédica, em cursos de Engenharia Elétrica.

Além dos aspectos técnicos e funcionais abordados existe uma preocupação com outras questões fundamentais para a utilização deste equipamento em disciplinas para ensino de Engenharia Biomédica, tais como aspectos de segurança, aspectos de compatibilidade eletromagnética do equipamento e robustez exigida para aplicações deste tipo.

Atualmente o Módulo de EEG se encontra em fase de projeto de *hardware*, ou seja, ainda não foram realizadas experiências em sala de aula para identificação e comprovação das características didáticas do sistema.

Até esta fase de desenvolvimento foram realizadas as seguintes etapas do projeto do Módulo de EEG:

- Escolha das topologias de circuitos de condicionamento;
- Cálculos dos parâmetros de cada circuito;
- Escolha de componentes ativos (amplificadores operacionais);
- Implementação em ferramenta de simulação;
- Simulação individual de cada um dos circuitos de condicionamento;
- Simulação da resposta completa da cadeia de condicionamento de sinais de EEG;
- Validação e ajustes dos parâmetros conforme resultados da simulação;
- Escolha dos componentes passivos conforme desempenho da simulação e disponibilidade de mercado;
- Projeto de placa de circuito impresso.

Os primeiros resultados encontrados durante o desenvolvimento são representados pelas simulações dos circuitos. O sinal de entrada para a simulação possui característica senoidal, frequência na faixa de 10mHz até 1kHz e amplitude de 100 μ V.

Abaixo é apresentado um diagrama esquemático da implementação dos circuitos em ferramenta de simulação.

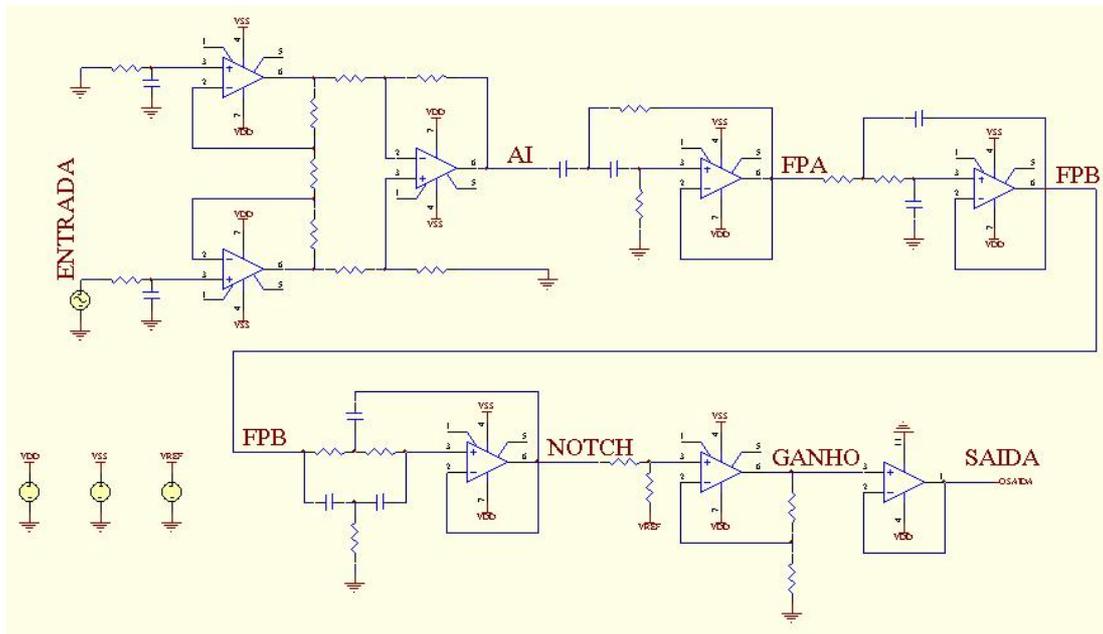


Figura 5 – Representação gráfica das topologias utilizadas para simulação de um canal de condicionamento de sinais de EEG.

De forma representativa, apresenta-se abaixo a resposta da simulação com análise em frequência da simulação da cadeia de condicionamento de sinais de EEG. Os eixos cartesianos do gráfico representam o espectro de frequências versus atenuação em dB.

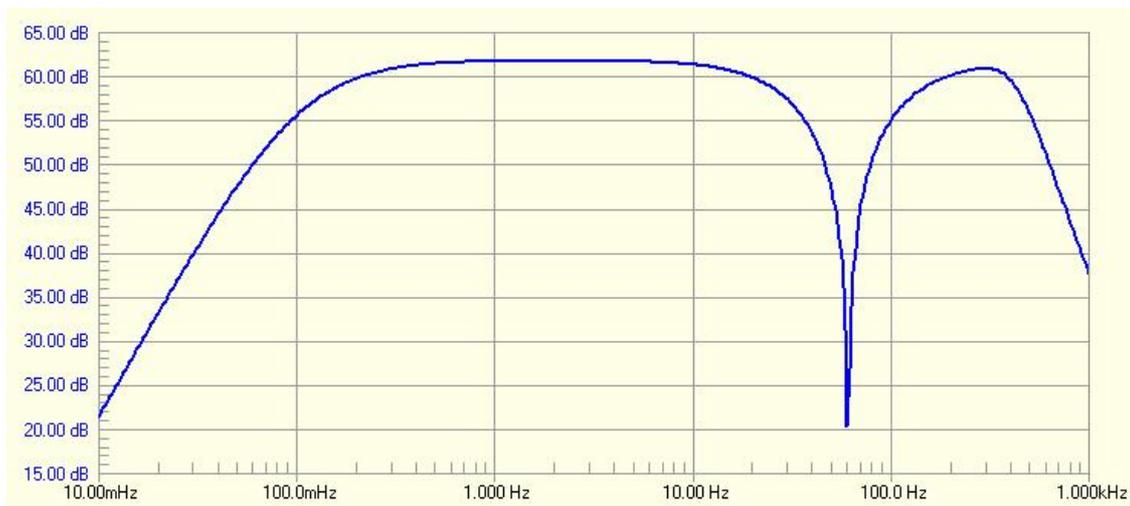


Figura 6 – Resposta em frequência da cadeia de condicionamento de sinais de EEG.

Percebe-se a partir da análise do gráfico acima que as frequências de corte dos filtros passa-altas e passa-baixas são respectivamente 100mHz e 300Hz respectivamente, os quais representam filtragens adequadas para um sinal na faixa de 500mHz a 100Hz conforme exposto anteriormente.

Além das filtragens identificadas nas bordas do gráfico, percebe-se claramente um afundamento no gráfico na região da frequência de 60Hz. Esta atenuação representa a filtragem do circuito *notch*, que impede que as interferências radiada e conduzida de redes elétricas prejudiquem a qualidade do sinal de saída. É importante ressaltar que caso a interferência de 60Hz não esteja presente no circuito, recomenda-se que o usuário retire o filtro *notch* da cadeia de condicionamento. Isto pode ser feito facilmente através dos *jumpers* presentes na placa.

Outro aspecto importante a ser analisado durante as simulações é a amplificação dos sinais através da propagação através circuitos de condicionamento. Para isto, segue na figura abaixo a plotagem da simulação no domínio do tempo da propagação de um sinal de entrada com amplitude de $100\mu\text{V}$ e frequência de 10Hz.

O gráfico apresenta o sinal de entrada e os sinais nas saídas de cada um dos estágios do canal de condicionamento de EEG. Analisando estas curvas, percebe-se que não houve a perda de informações durante o condicionamento, ou seja, o sinal senoidal que foi aplicado na entrada dos circuitos, foi apresentado na saída sem que houvesse distorções no decorrer das filtragens e ampliações.

Outro aspecto importante a se observar neste gráfico são os baixos atrasos gerados, garantindo desta maneira bons resultados para sistemas de operação em tempo real.

Analisando especificamente as amplitudes, verifica-se que o sinal recebe uma elevada amplificação no estágio inicial, passando a tensão média de $100\mu\text{V}$ para aproximadamente 1V, o que reduz enormemente a relação sinal-ruído. Durante os estágios de condicionamento subsequentes não ocorrem ganhos significativos, a não ser no estágio de amplificação e *offset*, que converte o sinal de $\pm 1\text{V}$ para a faixa que vai de 0V para 2,5V. Esta é a amplitude necessária para compatibilizar o Módulo de EEG com o Módulo Base.

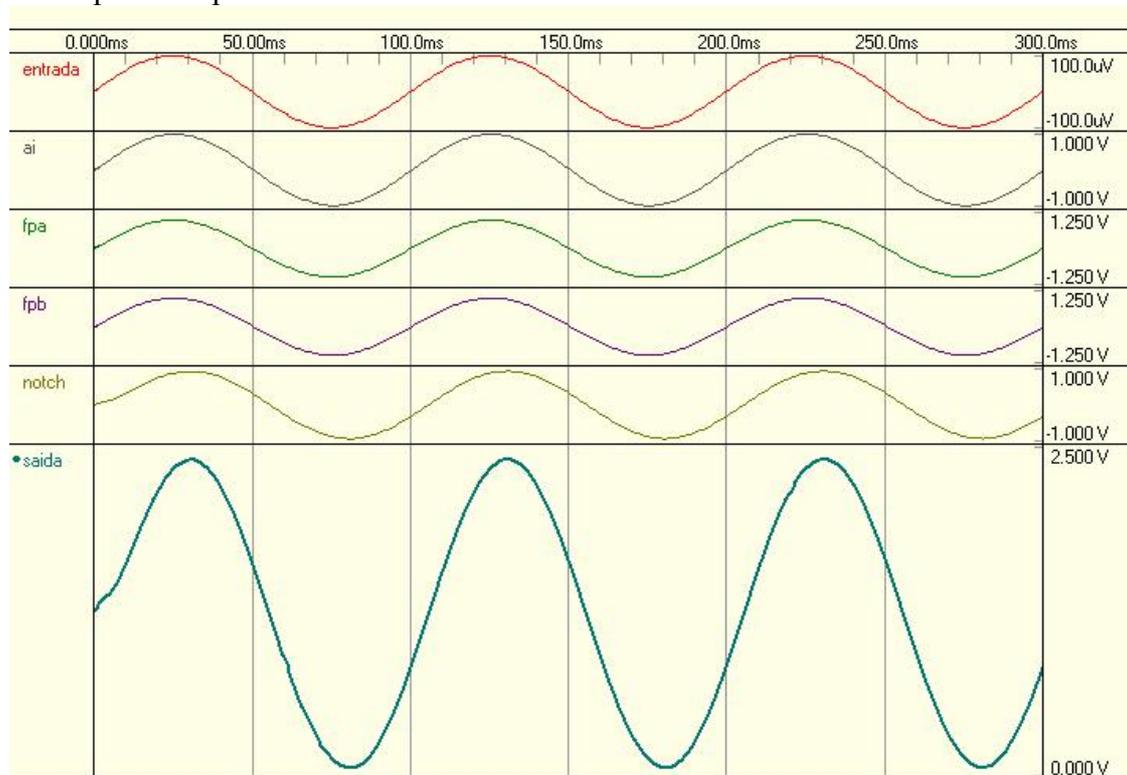


Figura 7 – Resposta no domínio do tempo da propagação de um sinal senoidal na cadeia de condicionamento de sinais de EEG.

6 CONCLUSÕES

Em avaliações iniciais, baseadas em observações em laboratórios de instrumentação da graduação de engenharia elétrica da UFSC, percebeu-se que os alunos que utilizam sistemas didáticos em disciplinas de engenharia elétrica, desenvolvem maior interesse pelo assunto.

Outro importante aspecto observado, é que a estrutura modular de *hardware*, escolhida para a implementação do SPSB-MD apresentou-se bastante favorável por permitir o desenvolvimento independente das partes e propício à aprendizagem por facilitar o manuseio individual dos módulos de aquisição.

Levando em conta o bom desempenho alcançado durante as simulações, esperam-se alcançar ótimos resultados durante as aplicações práticas dos circuitos de condicionamento.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem ao apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIGHETTO, E. et al. Proposta de uma plataforma didática para o ensino de Engenharia Biomédica em Cursos de Graduação de Engenharia Elétrica: I Os sinais Bioelétricos. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA, 4., Porlamar. 2007 (submetido).

GUYTON, A. C. **Tratado de Fisiologia Médica. Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.

IAIONE, F. **Proposta e Implementação de Metodologia para Detecção de Hipoglicemia Baseada na Análise e Classificação do Eletroencefalograma.** Florianópolis, 162 p., 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

NOCETI, S. F. **Filtros seletores de sinais.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.

WEBSTER, J. G. *Medical Instrumentation – Application and Design.* EUA: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

PROPOSAL OF DIDACTICAL PLATFORM FOR LEARNING OF BIOMEDICAL ENGINEERING IN UNDERGRADUATE ELECTRICAL ENGINEERING COURSES: II EEG DIDACTICAL MODULE

Abstract: *This work presents a proposal for the development of a module of electroencephalography (EEG) signals learning of a didactical platform designed to support practical learning of biomedical engineering subjects in undergraduate electrical engineering courses. This platform (the Biomedical Signal Processing System – Didactical Module, or SPSB-MD) includes hardware and software tools for the study of the special characteristics of bioelectrical signals for Electrical Engineering undergraduate students and biomedical professionals. The work goal is to show a proposal for a didactical module EEG characteristics signals learning for the future implementation from this platform.*

Key-words: *Biomedical engineering education, Didactical system, Electroencefalogram, Didactical eeg module.*