

PLATAFORMA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA BIOMÉDICA EM CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA. III - PROPOSTA PARA COMUNICAÇÃO *WIRELESS*

Eduardo Andrighetto – andrighetto@ieb.ufsc.br

Robson Adur – robson@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

Departamento de Engenharia Elétrica

Instituto de Engenharia Biomédica

Campus Trindade

88040-900 – Florianópolis – Santa Catarina

Resumo: *Este trabalho apresenta uma proposta para o desenvolvimento de um sistema de comunicação sem fios para uma plataforma destinada a dar suporte à aprendizagem prática de conteúdos de engenharia biomédica em cursos de graduação de engenharia elétrica. Esta plataforma (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, em seres humanos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução wireless para interconectar o SPSB-MD a um microcomputador, onde os estudantes podem analisar estes sinais.*

Palavras-chave: *Redes sem fio, Educação, Engenharia Elétrica, Engenharia Biomédica*

1 INTRODUÇÃO

O presente projeto constitui parte integrante do desenvolvimento de uma plataforma didática para Engenharia Biomédica, denominada “Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos: O Módulo Didático (SPSB–MD)”, para aquisição, processamento e visualização de sinais bioelétricos e focada no ensino em nível de graduação de Engenharia Elétrica.

O módulo didático SPSB-MD engloba soluções didáticas de hardware, software, hipermídia e de realidade virtual, dentro da concepção da implantação de ensino mediado por computador em um Laboratório de Engenharia Biomédica, no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. O objetivo é desenvolver-se, em etapas, uma

plataforma pedagógica completa de processamento de sinais bioelétricos, a qual deverá atender necessidades inerentes às atividades de ensino, pesquisa, desenvolvimento e inovação do Instituto de Engenharia Biomédica – IEB/UFSC, nas áreas de Informática Médica, Instrumentação Biomédica, Engenharia Clínica e Bioengenharia.

No âmbito de ensino, o módulo didático SPSB – MD deverá ilustrar, praticar e suscitar conteúdos relacionados à Engenharia Biomédica para alunos de graduação de Engenharia Elétrica e profissionais de áreas afins, em programas de educação continuada do IEB-UFSC.

No âmbito de P&D&I, a plataforma servirá como ferramenta e ambiente de desenvolvimento de trabalhos futuros de Mestrado e Doutorado, eventualmente incorporando-os e assim expandindo e extrapolando as funcionalidades de ensino.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução *wireless* adequada às características de funcionamento do SPSB-MD. Como parte desta plataforma, devem ser estudadas, desenvolvidas e implementadas as tecnologias de comunicação de dados sem fio, *wireless*, com o objetivo de se fazer a transmissão dos sinais bioelétricos selecionados pelo SPSB – MD para um microcomputador, via radiofrequência.

Particularmente, a implementação de um módulo elementar de transmissão sem fios visa eliminar cabos na transmissão dos sinais eletrofisiológicos entre polígrafo e microcomputador. Isto permite uma locomoção e movimentação mais livres do indivíduo a partir do qual os sinais são adquiridos, o que aumenta o conforto, melhorando, em princípio, a qualidade dos sinais adquiridos e aproximando os resultados obtidos com o exame, da realidade do paciente. No aspecto técnico, facilita-se o manuseio do equipamento em aulas práticas, elimina-se a ocorrência de maus-contatos e rompimento dos cabos de transmissão. Também, o equipamento torna-se capaz de realizar telemetria para monitoração à distância.

Enfim, a proposta do módulo de transmissão sem fios para a plataforma que compõem o SPSB – MD deve dar suporte ao ensino para a graduação em Engenharia Elétrica, no que se referem às próprias tecnologias *wireless*, tendo em vista a recente inovação tecnológica no contexto de transmissão sem fios de dados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os diversos componentes que irão compor o Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos - Módulos Didáticos (SPSB-MD) serão desenvolvidos de forma coletiva, por uma equipe de pós-graduandos do Instituto de Engenharia Biomédica (IEB) da UFSC.

São considerados como produtos do laboratório, os kits didáticos destinados à formação 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* - componentes físicos de polígrafos digitais, transmissores telemétricos, dentre outros; recursos de *software* - programas e *firmwares* para recepção e análise de dados; ambientes virtuais de ensino - que incluam realidade virtual, por exemplo; e roteiro de experimento para aula prática - virtual ou impresso.

O sistema proposto consiste de um Módulo Base microcontrolado, que serve como plataforma para acoplamento de módulos de aquisição de sinais bioelétricos, um módulo de comunicação sem fio e um *software* para visualização dos sinais adquiridos em um microcomputador.

Inicialmente, estão sendo desenvolvidos módulos didáticos de aquisição de eletrocardiograma, eletromiograma, eletrooculograma e eletroencefalograma, ECG, EMG, EOG e EEG, respectivamente. A opção pelo desenvolvimento de um Módulo-Base deu-se em virtude do objetivo de se priorizar modularidade e eventuais expansões do sistema. Neste

módulo estão sendo alocados os circuitos de digitalização e processamento dos sinais provenientes dos módulos de aquisição de sinais bioelétricos. Além disso, o Módulo-Base incluirá duas interfaces de comunicação com o computador: via protocolo USB e via Módulo *Wireless*.

Uma das características que qualifica este equipamento como “didático” está sendo o baixo nível de integração dos componentes dos circuitos. Neste contexto, são disponibilizados ao usuário de cada módulo do sistema, diversos “pontos de acesso” aos circuitos internos onde se permite testar/alterar parâmetros, ou mesmo substituir integralmente circuitos específicos do módulo. Além disso, todos os módulos serão acompanhados de roteiros de aulas práticas.

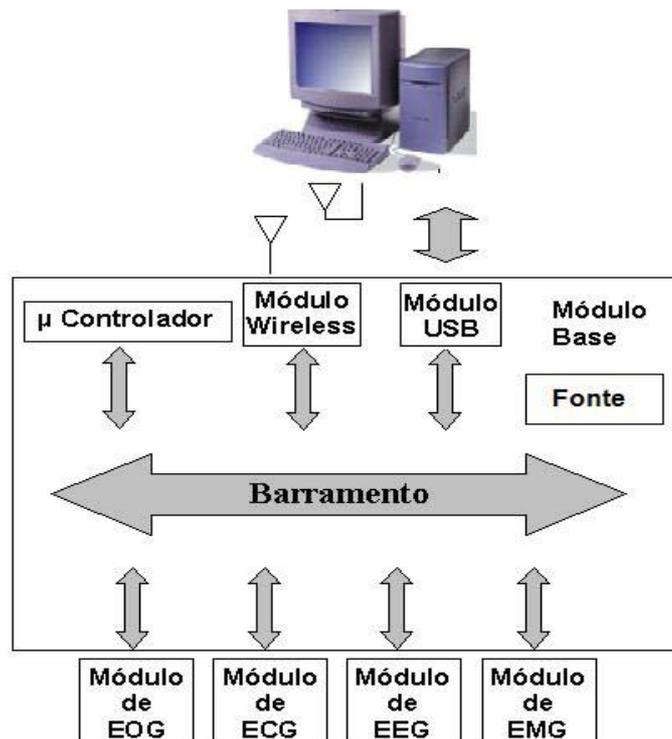


Figura 1 – Diagrama de blocos do SPSB-MD

Para a implementação do módulo *wireless*, especificamente, estão sendo utilizados módulos comerciais denominados *Original Equipment Manufacture (OEM)* que operam em bandas de frequências livres e utilizam técnicas *Spread Spectrum* para evitar interferências com outros equipamentos de radiofrequência apresentando-se como uma solução pronta e mais imediata para a adaptação de redes sem fio a equipamentos.

2.1 Espalhamento Espectral

O *Spread Spectrum* é uma técnica de codificação que executa o espalhamento espectral do sinal a ser transmitido. Isso faz com que o sinal ocupe uma banda maior de frequência, porém com uma densidade de potência menor do que a informação original. Esta técnica apresenta uma baixa relação sinal/ruído e originalmente foi desenvolvida para mascarar informações militares como sendo ruído radioelétrico.

O espalhamento espectral permitiu inovação *wireless* viabilizando confiabilidade e taxas de transmissão cada vez melhores, possibilitou-se o desenvolvimento de redes locais (*LAN*) e regionais (*WAN*) proporcionando mobilidade e flexibilidade de uso.

Os equipamentos *Spread Spectrum* utilizam faixas de frequências livres denominadas internacionalmente como ISM (*Instrumentation, Scientific & Medical*) que abrangem 900MHz, 2,4GHz e 5,8GHz.

A técnica *Spread Spectrum* é implementada sob três formas: Salto de Frequência, *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*; Seqüência Direta, *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*; e Sistemas Híbridos que combinam as duas técnicas de modulação anteriores alternadamente, uma de cada vez mantendo a outra inoperante.

Salto em Frequência (Frequency Hopping)

A técnica *Frequency Hopping* baseia-se em saltos aleatórios em cada canal criado pelo espalhamento espectral. Um circuito gera códigos randômicos pré-estabelecidos fazendo com que o transmissor mude a posição da informação constantemente no espectro. Isso exige que o receptor tenha sincronismo e saiba a seqüência de saltos que o transmissor opera.

As principais vantagens do uso desta técnica são que o sistema fica mais imune a interferências externas e que a probabilidade de diferentes usuários utilizarem a mesma seqüência de saltos é muito pequena deixando a rede mais segura. Porém, isso limita a capacidade de transmissão, na ordem de 2Mbit/s (OLIVEIRA & BERNAL FILHO, 2006).

Seqüência Direta (Direct Sequence)

Na técnica *Direct Sequence*, é empregado um circuito especial para gerar códigos binários numa frequência muito maior do que a taxa de transmissão do sinal. A multiplicação do sinal a ser transmitido com este codificador modula a portadora com a finalidade de expandir a largura de banda do sinal. Isso gera um sinal codificado completamente diferente da informação original e necessita de um processo complementar no receptor através de um gerador de códigos sincronizado com o código gerado no transmissor.

A principal vantagem desse método é que possibilita maiores taxas de transmissão, da ordem de 11Mbit/s, porém com a desvantagem de uma maior dificuldade para a solução dos problemas de interferências externas (OLIVEIRA & BERNAL FILHO, 2006).

2.2 Tecnologias *Wireless*

Dentro da concepção inicial que define o posicionamento de cada um dos padrões de acesso *wireless*, são definidas as regiões de cobertura que cada rede abrange compondo *Personal Area Network (PAN)*, *Local Area Network (LAN)*, *Metropolitan Area Network (MAN)* e *Wide Area Network (WAN)*.

Tendo por base as características da aplicação em sala de aula para a plataforma didática do SPSB – MD, neste trabalho são abordadas as principais tecnologias PAN e LAN por serem as que melhor se enquadram ao projeto. Dentre elas: *IEEE 802.15.1 (Bluetooth)*; *IEEE 802.15.4 (ZigBee)*; *HomeRF*; *Ultrawideband (UWB)*; *HiperLAN 1 e 2*; e *IEEE 802.11*.

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

A tecnologia *Bluetooth* surgiu em 1999 e trouxe consigo um novo cenário de atuação de redes sem fio: as *Wireless Personal Area Network (PAN)*. Para a padronização deste novo conceito foi criado o grupo 802.15 da *IEEE*, sendo que o subgrupo 802.15.1 ficou responsável pela regulamentação da tecnologia *Bluetooth* (MARTINCOSKI, 2003).

O *Bluetooth* opera na faixa de frequência de 2,4 GHz que não precisa de autorização para ser utilizada e adotou o espalhamento espectral por salto de frequência (*FHSS*) de modo a garantir uma comunicação robusta em uma faixa de frequências compartilhada com outras aplicações como as *ISM* (TUDE, 2004).

A tecnologia *Bluetooth* permite uma taxa máxima de transmissão de 1Mbps. No entanto, por causa do *overhead* gerado pelos diversos protocolos do *Bluetooth*, a taxa efetiva máxima de transmissão é de 723,2 kbps (MARTINCOSKI, 2003).

Entre as principais aplicações para o *Bluetooth* estão as conexões sem fio a curtas distâncias de dispositivos como celulares, palm tops, fones de ouvido, microfones, computadores, teclados, etc.

IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Este protocolo está sendo projetado para permitir comunicação sem fio confiável, com baixo consumo de energia e baixas taxas de transmissão para aplicações de monitoramento e controle (FRIAS, 2004). Para implementar as camadas *MAC* (*Medium Access Control*) e *PHY* (*Physical Layer*) o *ZigBee* utiliza a definição 802.15.4 do *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, que opera em bandas de frequência livres. A tecnologia *ZigBee* atua nas faixas de *ISM* de 868 MHz, 910 MHz e 2,4 GHz com taxas de transmissão de no máximo 20 Kbps, 40 Kkbps e 250 Kbps respectivamente, usando modulação de espalhamento espectral por *Direct Sequence (DSSS)*.

A pilha de protocolos utilizada pelo *ZigBee* é mais simples que os protocolos da tecnologia *Bluetooth*, tendo no máximo 32 Kbytes de código contra os 250 Kbytes do *Bluetooth*. Por ser mais simples, a tecnologia *ZigBee* pode trabalhar com simples microcontroladores de 8 bits, como os da família 8051 (MARTINCOSKI, 2003). A proposta da tecnologia *ZigBee* é fornecer soluções otimizadas para aplicações onde não se necessita toda a sofisticação da tecnologia *Bluetooth*, principalmente em aplicações com baixas taxas de transmissão de dados. Algumas aplicações são: na automação e controle predial; controle industrial; periféricos para computadores; controles remotos; e saúde pessoal.

HomeRF

O grupo de trabalho *Home Radio Frequency* foi originalmente concebido para estabelecer uma especificação industrial aberta para a comunicação digital sem fio entre PCs e dispositivos eletrônicos no interior e nos arredores de residências. A participação de diversas empresas das mais variadas áreas proporcionou um desenvolvimento que permitiu tanto transmissão de dados como de áudio.

A tecnologia *HomeRF* utiliza modulação de espalhamento espectral por saltos (*FHSS*) e opera na banda de frequência livre *ISM* de 2,4 GHz alcançando taxas de transmissão de 1,6Mbps (MARTINCOSKI, 2003).

Ultra Wideband (UWB)

A tecnologia *Ultra Wideband UWB* realiza a modulação dos dados, a serem transmitidos, através da posição de impulsos eletromagnéticos gerados ao longo da banda de operação. Com a transmissão de impulsos muito estreitos no tempo, os rádios *UWB* apresentam emissão espectral muito ampla, originando o nome banda ultra larga. Porém, devido a este espalhamento espectral, a densidade espectral é muito baixa em frequências específicas da banda utilizada diminuindo assim a probabilidade de interferência entre rádios *UWB* e sistemas de rádio com frequências fixas.

Em 2002, o *Federal Communications Commission (FCC)* dos Estados Unidos aprovou a operação e comercialização de rádios *UWB* para a faixa de frequências entre 3,1 GHz e 10,6 GHz, com potência média de transmissão limitada a 41 dBm/MHz (MARTINCOSKI, 2003).

Hoje em dia é possível a implementação de sistemas de comunicação *UWB* de baixo consumo a um baixo custo, com taxas de transmissão acima de 100 Mbps para transmissões em curto alcance devido ao avanço da microeletrônica. Entre as principais aplicações desta

tecnologia destaca-se o seu uso em radares de curto alcance e sistemas de posicionamento e localização.

HiperLAN 1 e 2

Foi constatado que bandas de frequência *ISM* não permitiam uma implementação satisfatória de redes sem fio para este tipo de aplicação. Então, definiram o padrão *HiperLAN* para operar em frequência dedicada de 5GHz (MARTINCOSKI, 2003). A tecnologia *High Performance LAN* teve sua concepção pela *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* entre os anos 1991 e 1996 com o objetivo de melhorar a aplicação *wireless* em aplicações multimídia.

O padrão *HiperLAN 1* possibilita taxas de transmissão na ordem de 20 Mbps enquanto que o padrão *HiperLAN 2* foi desenvolvido para alcançar taxas de até 54 Mbps.

IEEE 802.11

O padrão *LAN IEEE 802.11* foi primeiramente publicado em junho de 1997 pelo *IEEE* nos Estados Unidos. Faz uso inicialmente de frequência de operação especificada pela faixa *ISM* de 2,4 GHz com taxas de transmissão de 1 e 2 Mbps. Este padrão permitia os dois modos de modulação de espalhamento espectral apresentados anteriormente, *DSSS* ou *FHSS*.

No entanto, como a taxa de transmissão da *IEEE 802.11* era baixa se comparada às taxas das redes *LAN* convencionais de cabos físicos, formulou-se em 1999 os padrões *IEEE 802.11a* e *IEEE 802.11b*.

O padrão *IEEE 802.11a* define as redes *LAN* sem fios que operam em frequências na faixa de 5 GHz e taxas de transmissão de até 54 Mbps.

O segundo padrão originado, *IEEE 802.11b*, é uma extensão do padrão 802.11 também conhecido por *Wireless Fidelity (Wifi)* e opera na banda *ISM* de 2,4 GHz com as taxas de transmissão originais de 1 e 2 Mbps permitindo taxas de 5,5 e 11 Mbps e atualmente é o padrão mais difundido entre as empresas que utilizam redes *LAN* sem fios. Outra diferença do padrão 802.11b para o original é que o *IEEE 802.11b* só permite uso de modulação de espalhamento espectral *DSSS*.

Inicialmente o padrão *IEEE 802.11* e seus sucessores foram formulados para operar na transmissão de grandes quantidades de dados. Desta maneira, esta tecnologia não possui tantas funcionalidades quanto a tecnologia *Bluetooth*, como por exemplo, canais específicos para áudio e suporte de qualidades de serviços (*QoS*) (MARTINCOSKI, 2003).

3 DISCUSSÕES E RESULTADOS

Para atender as necessidades didáticas do SPSB-MD empregando o seu uso no laboratório de engenharia biomédica, destinado a dar suporte ao ensino à graduação de engenharia elétrica, nas disciplinas de “Fundamentos de Engenharia Biomédica” e “Introdução à Informática Médica” da UFSC e sob o ponto de vista de abrangência do espaço físico em que o SPSB-MD pode ser utilizado, a proposta para implementação de uma tecnologia *wireless* compatível com as necessidades do projeto é que esta seja capaz de estabelecer uma rede *PAN* onde o raio de transmissão por radiofrequência cubra áreas similares a uma sala de aula. Com isso, os padrões mais indicados para uso seriam o *IEEE 802.15.4 (ZigBee)*, *IEEE 802.15.1 (Bluetooth)* e *Ultra Wideband (UWB)*.

Levando-se em consideração as taxas de transmissão envolvidas em cada diferente tecnologia *wireless*, a mais indicada para a aplicação é determinada pela multiplicação das características do processamento do sinal. Estas envolvem amostragem do sinal, a taxa de bits de conversão analógico/digital e o número de canais de cada periférico de aquisição.

Respeitando o teorema de *Nyquist*, a frequência de amostragem para o ECG, é de 200 Hz (QUIANG & MINGSHI, 2005), para o EMG 1000 Hz (IVES & WIGGLESWORTH, 2002), para o EOG 300 Hz (WEBSTER, 1992) e para o EEG 200 Hz (EPSTEIN, 2003). Levando em conta que o conversor A/D trabalhe com 12 bits e que o número de canais para aquisição dos sinais de ECG, EMG, EOG e EEG sejam 1, 1, 1, 6 respectivamente, chegamos a uma especificação mínima na soma dos resultados de 32,4 Kbps.

Tabela 1 - Características de operação *wireless*

Padões <i>wireless</i>	Taxa de Transmissão (Mbps)	Região de Abrangência	Frequência de Operação (GHz)
<i>IEEE 802.11</i>	1, 2, 5.5, 11 e 54	<i>LAN</i>	2.4 e 5
<i>HomeRF</i>	1.6	<i>LAN</i>	2.4
<i>HiperLAN</i>	20 e 54	<i>LAN</i>	5
<i>Ultra Wideband</i>	100	<i>PAN</i>	3.1 e 10
<i>IEEE 802.15.4 (ZigBee)</i>	0.02, 0.04 e 0.250	<i>PAN</i>	0.868, 0.910 e 2.4
<i>IEEE 802.15.1 (Bluetooth)</i>	1	<i>PAN</i>	2.4

De acordo com as características individuais levantadas na Tabela 1, comparando-se com as necessidades do projeto, a melhor solução para implementação no módulo de comunicação sem fio para o SPSB-MD apresentado, pode ser tanto o padrão *IEEE 802.15.4 (ZigBee)* quanto o padrão *IEEE 802.15.1 (bluetooth)*. Ambas as tecnologias apresentam capacidade de transmissão suficiente para o projeto, porém o *bluetooth* permite que no futuro seja melhorada a resolução de aquisição de cada módulo e ainda módulos adicionais de aquisição para outros sinais eletrofisiológicos poderiam ser agregados ao SPSB-MD.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo básico das principais características e especificações técnicas dos dispositivos *wireless* mais utilizados na atualidade em redes *Personal Area Network (PAN)* e *Local Area Network (LAN)*, com o intuito de apresentar a solução mais adequada para ser implementada na plataforma didática do Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos – Módulo Didático (SPSB-MD). Optou-se por abordar apenas redes PAN e LAN, por serem as mais indicadas para ambientes pequenos como salas de aula e laboratórios que normalmente não possuem barreiras físicas em seu interior.

Após o levantamento das especificações de cada tecnologia *wireless* e definidas as características de funcionamento da plataforma SPSB-MD é indicado que tanto pode ser utilizado o padrão *IEEE 802.15.4 (ZigBee)*, quanto o padrão *IEEE 802.15.1 (bluetooth)*. Estas duas opções apresentam custos relativamente baixos para serem incorporados ao projeto, algo em torno de 30 dólares por módulo *OEM*, e a sua manutenção no SPSB-MD é facilitada em eventuais problemas bastando substituir o módulo de radiofrequência na placa.

No que diz respeito quanto à aprendizagem de alunos de Engenharia Elétrica no Laboratório de Engenharia Biomédica, a implementação de ambas as tecnologias na plataforma didática torna-se interessante por abrir um leque de possíveis investigações e oportunidades ao se comparar o funcionamento dos dois padrões *wireless* operando lado a lado, com as suas diferentes particularidades.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPSTEIN, C. M. **Aliasing in the Visual EEG: A Potential pitfall of video display technology.** International Federation of Clinical Neurophysiology. Elsevier Ireland Ltd, n. 114, p. 1974-1976, 2003.

FRIAS, R. N. **Zigbee.** Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/> > Acesso em: 20 maio 2007.

IVES J. C.; WIGGLESWORTH J. K. **Sampling rate effects on surface EMG timing and amplitude measures,** Clinical Biomechanics 18, p. 543-552. (2002)

MARTINCOSKI, D. H. **Sistema para Telemetria de Eletrocardiograma Utilizando Tecnologia Bluetooth.** Florianópolis, 99 p., 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVERA, F. T. X.; BERNAL-FILHO H. **Rádio Spread Spectrum (Espalhamento Espectral).** Disponível em: < http://www.teleco.com.br > Acesso em: 20 maio 2007.

QUIANG Z.; MINGSHI W. **A wireless PDA-based electrocardiogram transmission system for telemedicine,** Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, 2005, p. 3807-3809.

TUDE, E. **Bluetooth.** Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/> > Acesso em: 20 maio 2007.

WEBSTER J. G. **Medical instrumentation – application and design.** 3. ed. Usa: Jhon Wiley & Sons, 1998. 691 p.

DIDACTICAL PLATFORM FOR THE LEARNING OF BIOMEDICAL ENGINEERING IN ENGINEERING ELECTRICAL COURSES. III – PROPOSAL FOR WIRELESS COMMUNICATION

Abstract: *This work presents a proposal for the development of a system of wireless communication for a platform designed to support practical learning on 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, in humans. The work goal is to show a wireless solution to interconnecting the SPSB-MD to a microcomputer, where the students could analyze this signals.*

Key-words: *Wireless, Education, Electrical Engineering, Biomedical Engineering*