

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA: ÊNFASE EM
ELETRÔNICA/TELECOMUNICAÇÕES

ANDRÉ FELIPE DE SOUZA OKOPNI E EDUARDO ROMANI

**MÓDULO DE REGISTRO DE POSIÇÃO CORPORAL
DURANTE O SONO (MÓDULO RPCS)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

ANDRÉ FELIPE DE SOUZA OKOPNI E EDUARDO ROMANI

**MÓDULO DE REGISTRO DE POSIÇÃO CORPORAL DURANTE O
SONO (MÓDULO RPCS)**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrônica/ Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Rubens Alexandre de Faria

Co-orientador: Adriano Mehl

CURITIBA

2012

ANDRÉ FELIPE DE SOUZA OKOPNI

EDUARDO ROMANI

**MÓDULO DE REGISTRO DE POSIÇÃO DURANTE O SONO
(MÓDULO RPCS)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro em Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 11 de Outubro de 2012.

Prof. Dr. Hilton José Silva Azevedo
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. Dr. Dario Eduardo Amaral Dergint
Coordenador de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Dario Eduardo Amaral Dergint

Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

Dedico este trabalho aos meus pais Amauri e Maristela que sempre apoiaram e incentivaram minhas decisões e à minha namorada Carla pela compreensão e apoio incondicional.

Eduardo Romani

Dedico este trabalho a todos aqueles que me deram apoio para a conclusão desse projeto. Minha mãe Rosilene e meu pai André, além dos meus irmãos Victor e Maria Eduarda. Dedico também a minha namorada Gabriella, que sempre se mostrou compreensiva mesmo nos momentos mais difíceis.

André Felipe de Souza Okopni

AGRADECIMENTOS

Agradeço desde já meus pais Amauri e Maristela, e meu irmão Maurício por me mostrarem os caminhos que me conduziram até aqui.

Agradeço à minha namorada Carla por ser sempre um apoio e fonte de carinho e compreensão.

Também expresso minha gratidão aos meus amigos e colegas que estarão sempre em minhas lembranças pelo companheirismo e auxílios nas mais diversas dificuldades.

Agradeço também ao Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria pela orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho e aos demais professores que fizeram parte desta importante fase de minha vida.

Eduardo Romani

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma, seja ela na parte de desenvolvimento ou emocional.

Meus pais, André e Rosilene, meus irmãos Victor e Maria Eduarda e minha namorada Gabriella, que se mostraram compreensivos e me apoiaram nos momentos mais difíceis.

Ao professor Rubens Faria, que nos recebeu em sua residência para os auxílios necessários ao desenvolvimento no momento de maior aperto.

Ao professor e doutor Adriano Mehl, que ajudou a idealizar o projeto e definir características importantes em uma área que não era de nosso conhecimento.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e seus professores, que me proporcionaram um aprendizado único e me ensinaram a verdade sobre o que é ser um engenheiro.

A todos aqueles que ajudaram, seja com críticas, sugestões ou até mesmo elogios ao projeto e seu desenvolvimento.

André Felipe de Souza Okopni

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

RESUMO

DE SOUZA OKOPNI, André Felipe; ROMANI, Eduardo. **Módulo de Registro de Posição Corporal Durante o Sono (Módulo RPCS)**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações, UTFPR, Curitiba.

Os distúrbios do sono são observados desde o princípio da história do homem, sendo que estes afetam cerca de 43% dos brasileiros, como revelou uma pesquisa feita pela Associação Brasileira de Sono (ABS). Para diagnosticar estes distúrbios, várias técnicas foram desenvolvidas, principalmente a partir da metade do século XIX, com a invenção da eletroencefalografia e de exames como a polissonografia, que detecta até 87 distúrbios do sono. Dentro deste contexto, o objetivo principal é desenvolver um equipamento sem fio de monitoramento de atividades humanas durante o sono. Desta forma, a metodologia se dividiu em uma fase de estudos das tecnologias e componentes, fases de montagens de protótipos e testes juntamente com estudo para redução física e de consumo do equipamento, e a montagem final do produto. O desenvolvimento deste produto consistiu na implementação de um software e dois módulos, sendo um módulo móvel e outro fixo. O módulo móvel vai acoplado ao corpo do usuário, possuindo alimentação própria, um transdutor para captar o posicionamento torácico do usuário e um transmissor sem fio para transmitir estes dados ao módulo fixo, além de possuir um tamanho pequeno que interfira o menos possível no sono do usuário. Já o módulo fixo possui alimentação da rede, um receptor, e comunicação com um computador. Os dados coletados pelo módulo móvel e transmitidos ao computador através do módulo fixo são analisados por um software, neste, podem-se gerar gráficos, simulações, relatórios e gravar *logs* (registro de posições, horários e datas) através de uma interface de fácil manuseio, tornando assim, mais fácil a visualização dos resultados e busca por um primeiro diagnóstico. Assim sendo, como resultado, o produto poderá se tornar uma ferramenta de grande auxílio em estudos relacionados ao sono, pois com suas informações, juntamente com outros dados obtidos com auxílio de outros equipamentos, é possível desenvolver estudos dos mais diversos distúrbios do sono, como a apneia, sonambulismo, entre outros.

Palavras-chave: Registro. Posição Corporal. Sono.

ABSTRACT

DE SOUZA OKOPNI, André Felipe; ROMANI, Eduardo. **Module Registration Body Position During Sleep (Module RPCS)**. 2012. Course Conclusion Labor (Undergraduate) – Industrial Electrical Engineering Course: Emphasis in Electronics / Telecommunications, UTFPR, Curitiba.

Sleep disorders are observed since the beginning of human history, and they affect about 43% of Brazilians, as revealed by a research by the Brazilian Society of Sleep (Associação Brasileira de Sono – ABS). To diagnose these disorders, several techniques have been developed, mainly since the mid-nineteenth century, with the invention of tests such as electroencephalography and polysomnography, which detects up to 87 sleep disorders. Within this context, the main objective is to develop a wireless monitor of human body activities during sleep. Thus, the methodology is divided into a study phase of technologies and components, phases of assembly and testing of prototypes, a phase whit the study to reduce the consumption and the physical size of the equipment, and final assembly of the product. The development of this product was the implementation of a software and two modules, one fixed and one mobile module. The mobile module is attached to the user's body, having its own power supply, a transducer to capture the position of the user's thorax and a wireless transmitter to transmit these data to the fixed module, in addition to having a small size that interferes as little as possible in sleep user. The fixed module has mains supply, a wireless receiver, and communication with a computer. The data collected by mobile module and transmitted to the computer via the fixed module are analyzed by software, this can generate graphics, simulations, writing reports and logs (record positions, times and dates) through an easy handling interface, thus making it easier to visualize the results and search for a first diagnosis. Therefore, as a result, the product may become a helpful tool in studies related to sleep because of the information provided, along with other data obtained with the aid of other equipment; it is possible to develop studies of various sleep disorders, such as apnea, sleep walking, among others.

Keywords: Record. Body Position. Sleep.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Kit eZ430-F2013.	25
Figura 2 - Kit MSP-EXP430G2.	26
Figura 3 - Kit eZ430-RF2500.	27
Figura 4 - Kit STM32-VLDiscovery.	32
Figura 5 - Kit Micro2440.	33
Figura 6 - Kit TMDSEXPL138.	34
Figura 7 - Kit eAT55.	35
Figura 8 - Placas para o acelerômetro.	41
Figura 9 - Pilhas alcalinas com adaptador.	42
Figura 10 - Bateria recarregável.	43
Figura 11 - Bateria de lítio CR 2032 e seu adaptador.	43
Figura 12 - Representação da posição do módulo móvel no corpo do usuário.	44
Figura 13 - Modelagem do módulo móvel.	45
Figura 14 - Braçadeira para anexar o módulo móvel.	45
Figura 15 - Estruturação do código multicamadas.	49
Figura 16 - Blocos funcionais do módulo móvel.	50
Figura 17 - Dimensões do primeiro protótipo do módulo móvel, que faz a ligação física entre o MSP430 (vermelho), o acelerômetro (azul) e as baterias.	55
Figura 18 - Esquemático das placas do segundo protótipo.	56
Figura 19 - Versão final do segundo protótipo.	57
Figura 20 - Esquema funcional do módulo fixo.	59
Figura 21 - Esquemático do MAX232.	63
Figura 22 - Ilustração do esquema lógico da comunicação serial, com os pontos notáveis em destaque.	65
Figura 23 - Montagem final da parte interna do módulo fixo.	66
Figura 24 - Simulação 3D no software.	69
Figura 25 - Cadastro no software.	70
Figura 26 - Gráficos do Software.	71
Figura 27 - Slider de reprodução do Software.	72
Figura 28 - Campo de Observações do Software.	72
Figura 29 - Resultado Final do Software.	73

Figura 30 - Gráfico de destes de posicionamento.	77
Figura 31 - Distribuição das empresas de saúde por regiões e estados.	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo para estudo do microcontrolador do módulo móvel.....	23
Quadro 2 - Comparativo dos kits de MSP430 para implementação do módulo móvel.	27
Quadro 3 - Comparativo para escolha do microcontrolador do módulo móvel.	29
Quadro 4 - Tabela comparativa para o microcontrolador do módulo fixo.....	35
Quadro 5 - Tabela de custos das placas com taxas de importação.	37
Quadro 6 - Tabela de custos das placas isenta das taxas de importação.	37
Quadro 7 - Cronograma detalhado do desenvolvimento.	79
Quadro 8- Custos para a compra de componentes e kits para confecção dos módulos.	81
Quadro 9 - Tabela com gastos para aquisição de itens de apoio ao desenvolvimento.	81
Quadro 10 - Gastos ineficazes do projeto.....	82
Quadro 11- Tabela de Riscos.....	83
Quadro 12 - Tabela com número aproximado de clientes em cada segmento.	90
Quadro 13 - Previsão de crescimento do setor EMHO mundial por região (em US\$ bilhões).	92
Quadro 14 - Faturamento anual do setor de indústria da saúde no Brasil.	93
Quadro 15 - Exportações brasileiras no setor da saúde em milhões de dólares.	93
Quadro 16 - Importações brasileiras no setor da saúde em milhões de dólares.	94
Quadro 17 - Líderes mundiais em equipamentos médico-hospitalares receita 2010..	96
Quadro 18 - Análise SWOT.	101
Quadro 19 - Projeção de venda dos produtos da empresa para os próximos 5 anos.	103
Quadro 20 - Projeção do volume de estoque para os próximos 5 anos.	103
Quadro 21 - Cronograma.....	104
Quadro 22 - Quadro de pessoal.	106
Quadro 23 - Projeção de Fluxo de Caixa para o primeiro ano.	109
Quadro 24 - Projeção de fluxo de caixa para os próximos 5 anos.	110

LISTAS DE SIGLAS E ACRÔNICOS

LISTAS DE SIGLAS

ABS	Associação Brasileira de Sono
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
CNH	Carteira Nacional de Habilitação
DIP	<i>Dual In-line Package</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
MSP	<i>Mixed-Signal Microcontroller</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
QFN	Quad-flat no-leads package
RPCS	Registro de Posição Corporal durante o Sono
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

LISTAS DE ACRÔNICOS

ABIMO	Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
SAOS	Síndrome de Apneia Obstrutiva do Sono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.4	JUSTIFICATIVA	17
1.5	OBJETIVOS	18
1.5.1	Objetivo Geral.....	18
1.5.2	Objetivos Específicos	18
1.6	ESCOPO	18
1.6.1	Produto.....	18
1.6.2	Projeto.....	19
1.7	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.7.1	Estudo de Tecnologias	20
1.7.2	Montar Primeiro Protótipo.....	20
1.7.3	Estudar Reduções de Tamanho e Consumo.....	20
1.7.4	Montar Segundo Protótipo.....	20
1.7.5	Montar Produto Final.....	21
2	ESTUDO DE TECNOLOGIAS	22
2.1	MICROCONTROLADORES	22
2.1.1	Módulo Móvel	22
2.1.2	Módulo Fixo	28
2.1.3	Considerações	35
2.2	TRANSMISSORES WIRELESS	37
2.2.1	Bluetooth.....	38
2.2.2	ZigBee.....	38
2.2.3	CC2500	39
2.2.4	Considerações	39
2.3	TRANSDUTORES	40
2.4	BATERIAS E PILHAS	42
2.4.1	Pilhas Alcalinas.....	42
2.4.2	Baterias Recarregáveis.....	42
2.4.3	Bateria de Lítio	43
2.4.4	Considerações	43
2.5	EMBALAGENS ANATÔMICAS	44
2.5.1	Posição do módulo no corpo.....	44
2.5.2	Modelo do módulo móvel.....	45
2.5.3	Considerações Finais	46
3	DESENVOLVIMENTO	47
3.1	MÓDULO MÓVEL.....	49
3.1.1	Implementação do Acelerômetro.....	50
3.1.2	Implementação do Transmissor Wireless	52
3.1.3	Alimentação	54
3.1.4	Montagem Final	55
3.1.5	Considerações	59
3.2	MÓDULO FIXO.....	59
3.2.1	Implementação do Receptor Wireless	60
3.2.2	Microcontrolador ARM Cortex-M3	62

3.2.3	Montagem Final	66
3.2.4	Considerações	67
3.3	PROGRAMA COMPUTACIONAL (SOFTWARE)	67
3.3.1	Plataforma	67
3.3.2	Funcionalidades	67
3.3.3	Comunicação com o Módulo Fixo.....	68
3.3.4	Simulação.....	69
3.3.5	Registro dos dados	70
3.3.6	Cadastro	70
3.3.7	Gráficos.....	71
3.3.8	Reprodução	72
3.3.9	Relatório.....	72
3.3.10	Resultado Final	73
3.3.11	Considerações	73
4	RESULTADOS OBTIDOS	74
4.1	RESULTADOS TECNOLÓGICOS	74
4.2	RESULTADOS CIENTÍFICOS	75
4.3	RESULTADOS ECONÔMICOS	75
4.4	RESULTADOS SOCIAIS	76
4.5	TESTES	76
4.6	Considerações	77
5	GESTÃO	78
5.1	CRONOGRAMA.....	78
5.1.1	Considerações	79
5.2	CUSTOS	80
5.2.1	Custos Reais.....	80
5.2.2	Custos de Apoio.....	81
5.2.3	Gastos Ineficazes	82
5.2.4	Considerações	83
5.3	RISCOS	83
5.3.1	Considerações	84
6	PLANO DE NEGÓCIOS.....	85
6.1	SUMÁRIO EXECUTIVO	85
6.2	DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO	86
6.2.1	Visão:.....	86
6.2.2	Missão:.....	86
6.2.3	Valores:.....	86
6.2.4	Descrição do negócio:.....	86
6.3	OBJETIVOS	87
6.3.1	Objetivo Principal	87
6.3.2	Objetivos intermediários.....	87
6.4	PRODUTOS E SERVIÇOS.....	87
6.4.1	Descrição do Produto e Serviços	87
6.4.2	Análise Comparativa.....	88
6.4.3	Tecnologia	88
6.4.4	Produtos e Serviços Futuros	88
6.5	ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA	89
6.5.1	Segmentação de Mercado	89
6.5.2	Segmento Alvo de Mercado.....	90
6.5.3	Análise da Indústria	94

6.6	DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR.....	99
6.7	ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO.....	100
6.7.1	Diferenciais Competitivos e Proposta de Valor.....	100
6.7.2	Estratégia de Marketing.....	101
6.7.3	Estratégia de Vendas.....	102
6.7.4	Alianças Estratégicas.....	104
6.7.5	Cronograma.....	104
6.8	GESTÃO.....	105
6.8.1	Estrutura Organizacional.....	105
6.8.2	Equipe.....	105
6.8.3	Quadro de Pessoal.....	105
6.9	PLANO FINANCEIRO.....	106
6.9.1	Considerações.....	106
6.9.2	Indicadores Financeiros.....	107
6.9.3	Análise do <i>Break-even</i>	107
6.9.4	Investimento Inicial.....	107
6.9.5	Projeção do Resultado e de Fluxo de Caixa.....	108
6.9.6	Viabilidade do Empreendimento.....	110
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do módulo de Registro Corporal durante o Sono (RPCS) esta vinculado a vários aspectos, sendo os principais destes expostos neste capítulo introdutório. Estes trazem em qual área o módulo está inserido e qual sua finalidade.

Através de estudos, mostraremos sua real necessidade e quais as vantagens que este oferece, não apenas na área tecnológica, mas também visando trazer um benefício à sociedade.

Seguindo esta linha, mostraremos os objetivos deste projeto, suas ambições e os procedimentos necessários para sua realização.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema principal focado no projeto é o estudo do sono com auxílio de tecnologias de ponta. Neste âmbito, visa-se desenvolver um produto que auxilie no diagnóstico e tratamento de alguns distúrbios do sono.

Muitos distúrbios do sono têm como um de seus sintomas a inquietação, e movimentação constante da pessoa que apresenta este distúrbio. Citando alguns destes casos temos a apneia, o sonambulismo e a síndrome das pernas inquietas.

Observando este sintoma e a maneira atual que este é registrado, buscou-se uma alternativa que automatize o processo, facilite a aquisição dos dados, traga mais conforto e mobilidade ao usuário e ainda demonstre os resultados em gráficos e análises de rápida compreensão.

Para isto, o módulo de RPCS traz uma plataforma sem fios, simples de usar, portátil e com uma interface autoexplicativa.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo dados da Associação Brasileira de Sono [1], cerca de 43% dos brasileiros são afetados por distúrbios do sono, já no mundo, este número é de 40% de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) [2].

Dentre os distúrbios que assolam o sono das pessoas, existem mais de 90 tipos, onde a Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS) é uma das principais, afetando cerca de 30%

da população adulta. Entre outros distúrbios estão a Insônia, o Ronco, o Sonambulismo, a Narcolepsia, o Terror Noturno, a Síndrome das Pernas Inquietas, entre outros. Estes distúrbios causam irritabilidade, cansaço, dificuldades de concentração, dificuldades de memória, sonolência, obesidade e até mesmo depressão, como cita a ABS [1].

Porém, nota-se que mesmo com um grande percentual de pessoas sofrendo com estes distúrbios, apenas uma pequena parte destas busca tratamento, geralmente quando se encontram em casos mais graves. Este fato vem mudando nas últimas décadas, e mesmo que ainda seja uma pequena parcela a buscar tratamento, este número vem crescendo juntamente com o número de clínicas especializadas neste tratamento.

Além da procura crescente por tratamentos na área, o fato de que alguns exames de polissonografia possam ser realizados no domicílio do usuário atrai ainda mais pessoas afetadas por estes distúrbios a realizar exames, sendo que anteriormente não se sentiam confortáveis ou simplesmente não conseguiam dormir em clínicas.

Assim, o módulo RPCS pode oferecer um auxílio em alguns destes exames de polissonografia, visando sempre disponibilizar diagnósticos mais precisos e mais rápidos para poder melhorar o sono dos usuários e assim trazer mais qualidade de vida para estes.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os principais problemas que o módulo busca melhorar são:

- Falta de automatização no processo de aquisição dos dados de posicionamento corporal;
- Utilização de fios ligados ao corpo do usuário, dificultando as medidas e interferindo nos movimentos e no sono deste;
- Equipamento geralmente necessita ser usado em clínicas especializadas, fazendo com que o paciente necessite passar as noites na clínica;
- Sistema sem uma boa análise dos resultados e demonstração destes.

Através da análise destes problemas iniciais, buscou-se desenvolver um módulo que supra estas necessidades de maneira barata e que consiga abranger um maior número de pessoas. Assim, os pontos que se destacam no módulo RPCS são:

- Automatiza a aquisição de dados do posicionamento corporal durante o sono;
- Utiliza um sistema sem fios para transmissão dos dados;

- É um equipamento portátil, tornando possível que o paciente utilize este em casa, aumentando o conforto deste e também a confiabilidade das medidas, já que esta sendo utilizado o ambiente habitual de sono da pessoa;
- Possui um programa computacional interativo, que gera gráficos e interpreta parcialmente os resultados, tornando mais fácil a compreensão dos dados adquiridos.
- Possui um tamanho relativamente pequeno e viável para uso, porém, é apenas um protótipo, o que com uma produção maior tornaria possível a reduzir ainda mais suas dimensões e aumentando o conforto ao seu uso.

1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do equipamento se justifica por melhorias na área da saúde da população e também por razões de interesses financeiros.

Observando os benefícios à saúde, pode-se observar o auxílio que o equipamento prove nos diagnósticos de maneira automatizada e que simplifica o trabalho do médico ou técnico na análise dos resultados, visando assim à melhora na qualidade do atendimento aos pacientes e mais precisão nos diagnósticos, trazendo benefícios à saúde da população em geral, contribuindo assim para com o bem estar da sociedade em que vivemos.

Também nota-se uma necessidade do mercado por um equipamento que automatize este processo, além deste segmento de fabricação de equipamentos médico-hospitalares estar em crescimento devido a maior procura pela saúde de maneira geral, e um crescimento com maior proporção na busca pela saúde do sono. Também se observa um aumento significativo na quantidade de clínicas do sono, onde a maioria destas tem sua fundação dentro dos últimos 10 anos, além da indústria de equipamentos médicos estar em crescimento no Brasil segundo ABIMO [3].

Outro fator que acarreta no crescimento deste nicho é uma regulamentação de exame de distúrbios de sono pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) [4] para os candidatos que forem realizar adição, renovação e mudança da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) para as categorias C (caminhão), D (ônibus) e E (carreta). Pela nova resolução, estes candidatos devem ser avaliados pela Síndrome de Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS). Com isso, a necessidade de melhorar o processo e aumentar a capacidade de atendimento torna o equipamento proposto ainda mais necessário.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento sem fio de monitoramento de atividades humanas durante o sono.

1.5.2 Objetivos Específicos

Desenvolver um módulo transmissor móvel de RPCS microcontrolado, sem fio e de baixo consumo, que monitore a posição do paciente durante o período do sono.

Desenvolver um módulo receptor fixo de RPCS, localizado ao lado do leito do paciente, que recebe as informações do módulo móvel e comunique estas com um computador.

Implementar um programa computacional que recebe as informações do módulo fixo de RPCS e gera um registro dos movimentos realizados pela pessoa enquanto dormia, com estatísticas e registro cronológico do mesmo.

1.6 ESCOPO

1.6.1 Produto

O equipamento será constituído de 2 módulos, um fixo e outro móvel. Abaixo estão descritas as possíveis características de cada módulo a serem usadas no projeto, sendo que estas estão sujeitas a mudanças no decorrer dos estudos do produto.

Módulo móvel:

- Acoplado ao corpo do usuário.
- Microcontrolado através de ARM, PIC ou 8051.
- Comunicação wireless com o módulo fixo (transmissor) através de um MSP430.
- Baixo consumo de energia.
- Alimentação própria por pilha ou bateria.
- Utilizará um transdutor (acelerômetro) para saber a orientação corporal do usuário durante o sono.

Módulo fixo:

- Fixo no mesmo cômodo do módulo móvel.
- Alimentado por meio de uma fonte.
- Microcontrolado através de ARM, PIC ou 8051.
- Comunicação wireless com o módulo móvel (receptor) através de um MSP430.
- Armazena as informações coletadas em uma memória.
- Implementa a comunicação com o PC via USB, comunicação serial ou comunicação paralela.

Software:

- Implementado em um PC.
- Faz a leitura da memória do módulo fixo.
- Gera as informações e os logs pertinentes.
- Apresenta a informação ao usuário através de uma interface.

1.6.2 Projeto

- Trabalho de cunho acadêmico que se aproxima ao máximo de um equipamento com qualidade comercial.
- Conduzido por dois alunos de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Busca a validação de projeto para conclusão do curso acima citado.
- Tempo estimado de 1 (um) ano e 1 (um) mês para a conclusão.

1.7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto foi desenvolvido por duas pessoas, estudantes de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Este tem como foco um equipamento de baixo custo, com a prioridade de buscar as melhores alternativas disponíveis no mercado para atender às exigências deste.

O caminho de desenvolvimento foi dividido em cinco principais etapas. São elas:

1.7.1 Estudo de Tecnologias

O principal dessa etapa é o estudo dos tipos disponíveis de tecnologias e componentes referentes à comunicação sem fio, onde se buscou desenvolver um modo confiável de comunicação entre os módulos isolados. Os focos da pesquisa se concentrarão no custo financeiro e disponibilidade de componentes.

Além disso, houve a preocupação com o consumo do módulo móvel. Tendo em vista que ele será alimentado por baterias, é importante buscar alternativas que aliem alta densidade de energia acumulada, leveza e capacidade de sustentar-se junto ao corpo do usuário.

1.7.2 Montar Primeiro Protótipo

Acabada a pesquisa, veio à aquisição dos componentes e equipamentos necessários para o desenvolvimento dos primeiros protótipos. Sem levar em consideração o tamanho e o consumo, essa primeira etapa foi aproveitada para checar a viabilidade e as dificuldades da implementação.

O mais relevante nesse passo foi a checagem da disponibilidade de todos os componentes que serão usados durante o processo de montagem do equipamento. Nessa etapa foram desenvolvidos e testados, também, os firmwares de ambos os módulos e o software de comunicação no PC. Cada componente do grupo ficou encarregado de tarefas diferentes de desenvolvimento.

1.7.3 Estudar Reduções de Tamanho e Consumo

Esta é a etapa de maior peso no projeto. Foi feito um novo estudo, agora com foco em componentes e tecnologias de redução de tamanho e consumo. O foco desse passo foi reduzir ao máximo a dimensão e o custo energético de operação do módulo móvel. Além disso, o módulo fixo recebeu uma atenção especial para correção de falhas e instabilidades. Foi de vital importância que, nessa etapa, o módulo móvel alcançou as dimensões aceitáveis para o produto final.

1.7.4 Montar Segundo Protótipo

Com o resultado do estudo realizado no terceiro passo, foi montado o segundo protótipo, que se aproximou bastante com a aparência do produto final. Cada membro ficou

encarregado de diferentes tarefas que englobam montagem, programação, desenvolvimento e testes.

Essa foi uma etapa focada na realização de diferentes testes e na construção de módulos cada vez mais reduzidos.

1.7.5 Montar Produto Final

Essa etapa se dedicou a fazer os ajustes finais no equipamento e finalizar a primeira versão do módulo RPCS.

2 ESTUDO DE TECNOLOGIAS

2.1 MICROCONTROLADORES

Vários foram os microcontroladores e plataformas estudadas para a implementação do projeto e seus módulos. Em termos gerais, a escolha dos microcontroladores se baseou nestes cinco atributos:

- Custo
- Disponibilidade
- Simplicidade
- Escalabilidade
- Documentação

Como cada módulo apresenta sua particularidade, a análise também levou em consideração tópicos distintos para a escolha do módulo móvel e do módulo fixo.

Do módulo móvel foram considerados, também:

- Consumo
- Tamanho

Do fixo:

- Disponibilidade de pinos de uso geral (GPIO)
- Disponibilidade de APIs

Foram estudados vários kits de desenvolvimento para o uso destes controladores. O quadro comparativo e as conclusões podem ser observados nas seções 2.1.1 e 2.1.2 para os módulos móvel e fixo, respectivamente.

Os valores atribuídos em cada estudo desse capítulo se deu baseado em leituras, opiniões e experiências pessoais. Foram atribuídas notas para cada controlador com base numa visão geral, e não pontual, dos controladores. Por isso, os dados aqui mostrados, que não são referenciados, não tem valor científico e servem apenas para ilustrar o processo decisório da dupla em suas escolhas.

2.1.1 Módulo Móvel

O processador deverá ser capaz de lidar com o transdutor e com o transmissor sem fio do módulo móvel. Além disso, deverá ser alimentado por uma bateria e ser capaz de

interfacear com os outros dois componentes acima citados de modo eficaz e com o menor consumo de energia possível.

2.1.1.1 Controlador

Para o módulo móvel, foram avaliados cinco controladores, sendo eles:

- 8051
- ARM
- MSP430
- AVR (Arduino)
- PIC

O levantamento tomou como base os tópicos: Custo, Disponibilidade, Complexidade, Escalabilidade e Documentação e foram classificados seguindo uma escala de pontuação que varia de 1 a 5, onde 5 é atribuído ao controlador que atende totalmente as nossas necessidades e 1 é dado ao controlador que não atende as nossas necessidades em determinado aspecto. Com este levantamento foi possível obter um quadro comparativo como o Quadro 1:

Processador	Custo	Disponibilidade	Simplicidade	Escalabilidade	Documentação	Consumo	Tamanho	Total
8051	2	3	5	1	5	1	3	20
ARM	3	5	2	5	4	3	3	25
MSP430	4	3	5	4	5	5	4	30
AVR	3	3	5	3	4	4	3	25
PIC	3	5	4	4	5	3	4	28

Quadro 1 - Comparativo para estudo do microcontrolador do módulo móvel.

Fonte: Própria.

Algumas considerações podem ser tomadas a partir da tabela:

- **8051**: Controlador mais fraco dos avaliados, o 8051 apresenta um alto consumo. Como pontos positivos, podem se destacar a simplicidade e a vasta documentação do controlador. Como o critério *consumo* é um dos que mais pesam na implementação do módulo móvel, o processador foi rapidamente descartado.
- **ARM**: Um dos melhores controladores do mercado e largamente disponível, porém apresenta uma complexidade um pouco maior que a necessária para a implementação do módulo. Não existe a necessidade de grandes processamentos de instruções, o que torna o processador com excesso de

recursos para a aplicação. Além disso, o consumo do ARM em comparação aos demais controladores ficou um pouco acima da média dos pesquisados.

- **MSP430**: Um controlador da *Texas Instruments* voltado para o baixo consumo, de 16 bits, e bastante simples. A documentação, tanto acadêmica quanto a disponibilizada pelo fabricante, é bastante acessível e completa. O consumo e a simplicidade do processador foram os itens que mais pesaram na escolha.
- **AVR (Arduino)**: Um processador simples e razoavelmente acessível. Os kits *Arduino* são as principais ferramentas para desenvolvimentos baseados neste processador. São kits voltados para o público não familiarizado com projetos de *hardware*, portanto são bastante limitados, pois o *hardware* é muito amarrado ao kit de desenvolvimento. Além disso, os kits são grandes fisicamente para a nossa aplicação.
- **PIC**: Um controlador da *Microchip* muito acessível e com vasta documentação disponível. Além disso, possui várias famílias, como a 16F, 18F, DSPIC, entre outros. Por causa dessa variedade de dispositivos no mercado, é também uma boa escolha para a implementação do módulo. O consumo do controlador é razoavelmente aceitável, porém é um pouco mais alto do que o desejado. O PIC ficou como segunda alternativa para a implementação do módulo móvel.

Conforme analisado, os controladores escolhidos para a implementação do módulo móvel ficaram entre o MSP430 (*Texas Instruments*) como primeira opção, por causa do consumo reduzido e da boa documentação fornecida pelo fabricante, e o PIC (*Microchip*) como segunda opção, caso ocorra alguma mudança de estratégia no decorrer do desenvolvimento, por causa da sua grande acessibilidade e variedade, além de existir projetos dos mais variados tipos para consulta online.

2.1.1.2 Kit de Desenvolvimento

Do processador MSP430, foram três os kits analisados, todos da própria fabricante, a *Texas Instruments*. Os valores apresentados foram tomados como base no dia 23/03/2012 e os cálculos para conversão de moedas utilização como base a cotação do dólar de US\$ 1,00 equivalendo a R\$ 2,00. As estimativas de preço para cada módulo não levaram em consideração as taxas de importação e de envio, pois, até o dia da análise, a fabricante banca

esses valores por conta. Caso no momento da aquisição essa atitude seja abandonada por ela, pressupõe-se que os valores de entrega serão iguais para cada kit e os impostos serão cobrados proporcionalmente ao valor da aquisição, o que faz com que esses gastos excedentes não gerem interferência na comparação de Custo x Benefício dos kits, alterando apenas o valor final.

A seguir vemos uma breve descrição dos kits analisados, seguida de uma tabela analítica que faz a comparação do Custo x Benefício de cada kit.

- **eZ430-F2013**: O kit de desenvolvimento conta com uma *target board* com o processador MSP430-F2013 e uma *USB debugging interface*[5] para programar e debugar[6]. É um kit bem pequeno e bastante interessante. Tem alguns pinos de uso geral, facilmente acessíveis, e o CI do controlador é com encapsulamento SMD, facilitando uma possível solda futura e reduzindo o tamanho do módulo, se assim for necessário. O kit não possui nenhum periférico complementar. O preço é de US\$ 20,00 a unidade, como serão necessárias duas *target boards*, o valor total da compra ficaria em **US\$ 40,00**.

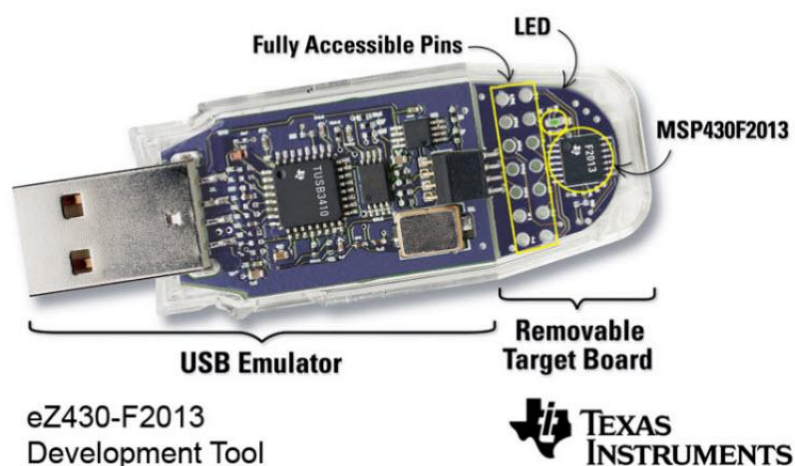


Figura 1 - Kit eZ430-F2013.
Fonte: Texas Instruments [5].

- **MSP-EXP430G2**: O kit conta com um controlador MSP430-G2452, com encapsulamento DIP, pinos de uso geral facilmente acessíveis e muito simples. A placa não conta com nenhum outro periférico além dos CIs utilizados para emulação, gravação e *debugging*[7]. Pelo encapsulamento DIP e o bloco de emulação não serem independentes fisicamente do resto do

kit, o tamanho do conjunto é muito elevado, o que serviria para construção do primeiro protótipo e gerando a necessidade de um futuro desenvolvimento de uma PCB dedicada ao módulo, aumentando os custos. O kit custa US\$ 4,30 cada e seriam necessários dois kits, totalizando US\$ 8,60. A confecção de um novo PCB ficaria em torno de R\$ 50,00 (ou US\$ 25,00, considerando o dólar valendo R\$ 2,00) a placa mais R\$ 8,00 (ou US\$ 4,00) de outros componentes. Ao total, o valor estimado ficou em **US\$ 37,60**.



Figura 2 - Kit MSP-EXP430G2.
Fonte: Texas Instruments [8].

- **eZ430-RF2500:** Um kit que conta com o processador MSP430-F2274 e possui alguns pinos de E/S acessíveis e vem com duas *target boards* e um *USB debugging interface* para a programação no controlador. O kit ainda contém, como periféricos, uma antena de RF para operação em 2.4GHz e um controlador de antena (CC2500/*Texas Instruments*), que cuida da modulação analógica da informação digital a ser enviada ou recebida[9]. O MSP430, bem como o controlador da antena e a antena são do tipo SMD e estão na mesma placa, o que reduz o tamanho do conjunto e ainda fornece a solução para a tecnologia *wireless* inerente ao módulo. Cada *target board* conta com uma antena e um controlador de antena. O preço se destaca dos demais, pois nenhum outro CI para comunicação sem fio deve ser acrescentado ao módulo. O kit custa **US\$ 49,00** dólares.

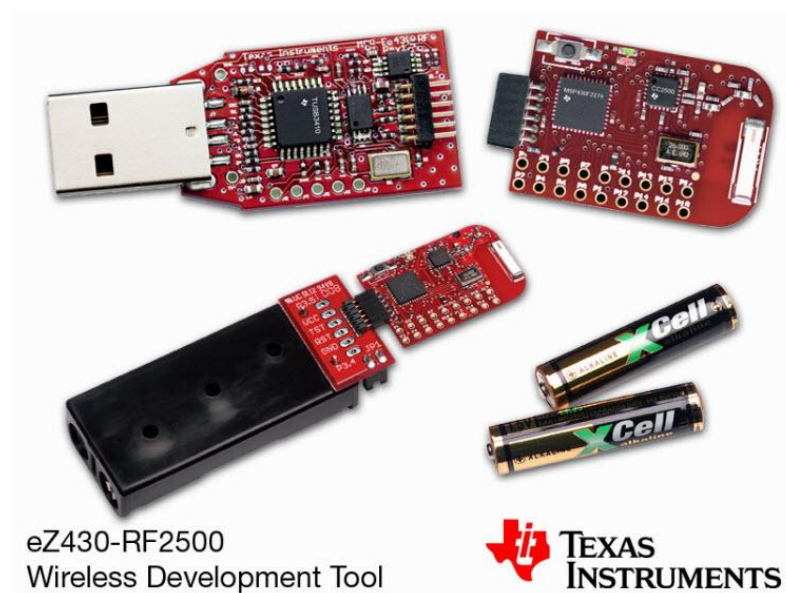


Figura 3 - Kit eZ430-RF2500.
Fonte: Texas Instruments [10].

O resultado das análises pode ser resumido pelo Quadro 2:

Kit	Tamanho	Preço Unitário (US\$)	Quantidade	Preço dos Kits (US\$)	Custos Adicionais (US\$)	Possui Periféricos?	Total: (US\$)
eZ430-F2013	Pequeno	20,00	2	40,00	0,00	Não	40,00
MSP-EXP430G2	Grande	4,30	2	8,60	29,00	Não	37,60
eZ430-RF2500	Pequeno	49,00	1	49,00	0,00	Sim, Controlador Wireless e Antena	49,00

Quadro 2 - Comparativo dos kits de MSP430 para implementação do módulo móvel.
Fonte: Própria.

O kit escolhido ficou entre o eZ430-RF2500, caso decida-se utilizar a tecnologia wireless proprietária da *Texas Instruments* implementada pelo controlador CC2500, por reduzir o custo das aquisições.

Caso outra tecnologia de transmissão sem fio seja escolhida, a opção de compra ficará com o eZ430-F2013, pois é um kit pequeno, com vários pinos acessíveis e comparativamente mais barato que os outros pesquisados.

Como será detalhado na seção 2.2.3, a tecnologia proprietária da *Texas Instruments*, o CC2500, foi o que melhor apresentou benefícios em sua aplicação. Por isso, o kit escolhido foi o eZ430-RF2500.

2.1.2 Módulo Fixo

O processador deverá ser capaz de lidar com a antena de recepção e com a interface de comunicação com o computador, além de, se decidido futuramente, lidar com o algum componente de armazenamento em massa, como uma memória flash, um SDCard ou um pendrive. O módulo não precisa apresentar uma alta otimização de energia, tendo em vista que será alimentado por uma fonte chaveada e não por baterias. Por isso o foco deve ser o desempenho e não o consumo.

Outro foco fundamental é velocidade do controlador escolhido, tendo em vista as várias interfaces que serão gerenciadas por ele.

Caso decida-se que os dados devem ser tratados localmente pelo módulo fixo, a taxa de instruções por segundo do controlador deve ser ainda maior e, se decidido que o módulo deve prover informações visuais ao usuário, a exigência do desempenho fica ainda maior e a opção de um sistema operacional começa a ser viável.

O sistema operacional embarcado insere uma complexidade muito alta no desenvolvimento, porém o resultado final fica bem mais completo e escalável. Será analisado, como visto no item 2.1.2.2, um kit com sistema operacional embarcado para que a decisão de utilização ou não de um SO fique apenas no âmbito especulativo.

2.1.2.1 Controlador

Para a implementação do módulo fixo, foram estudados os seguintes controladores:

- ARM
- MSP430
- 8051
- AVR (Arduino)
- PIC

Além disso, a utilização de uma família de chips de *hardware* reconfigurável:

- FPGA

Mesmo que cinco dos quesitos avaliados sejam os mesmos do módulo móvel, as exigências e a demanda do fixo são diferentes, por isso a pontuação não será a mesma para ambos os casos.

Obtemos o Quadro 3:

Processador	Custo	Disponibilidade	Simplicidade	Escalabilidade	Documentação	Disp. GPIO	Disp. API	Total:
8051	3	3	5	1	5	2	3	22
ARM	3	5	3	4	4	5	5	29
MSP430	4	3	5	2	5	3	3	25
AVR (Arduino)	3	3	5	3	4	4	5	27
PIC	3	5	4	3	5	3	4	27
FPGA	1	2	2	5	3	5	3	21

Quadro 3 - Comparativo para escolha do microcontrolador do módulo móvel.

Fonte: Própria.

Aqui, descreveremos as principais impressões que tivemos ao pesquisar sobre os controladores acima citados.

- **8051:** O controlador é bem simples e muito acessível. Os CIs da família 8051 são, em sua maioria, acessíveis e diversificados. Por serem *cores* mais antigos, hoje em dia estão um pouco ultrapassados. Como o módulo fixo é a estrutura funcional do projeto, as APIs e a escalabilidade da implementação deste controlador ficariam abaixo do que desejamos. Além disso, são poucas as opções que se encontram no mercado que conseguem aliar um preço baixo, com grande capacidade de processamento e com grande disponibilidade de pinos de uso geral. Além disso, os kits disponíveis para desenvolvimento são antigos ou limitados. Sua arquitetura de 8 bits também limita muito o processador. Fica como penúltima ou última opção para o desenvolvimento. Não suporta muito bem um sistema operacional, como o Linux, por exemplo.
- **ARM:** O ARM é o controlador que melhor se adapta à nossa análise. Tem de vários tamanhos e capacidades, com vários fabricantes e kits de desenvolvimento. Conta com famílias do mais diversos tipos, que podem ser utilizados para pequenas aplicações, como pequenos dispositivos controlados, até aplicações muito complexas e sob um sistema operacional, como *tablets* e *smartphones*. A documentação do controlador também é bastante vasta e podemos encontrar várias APIs, para as mais diversas aplicações, tanto na internet como vinda dos fabricantes. Como é larga a quantidade de opções, a escalabilidade do módulo, se implementado com o ARM, é muito grande também. A programação no controlador, em contrapartida, será um pouco mais complexa que nos outros, porém o ARM ainda fica como a melhor opção para

a implementação. Se o projeto precisar ser ampliado e adicionado mais funcionalidades ele será o processador que mais vai oferecer suporte a esta expansão. Sua arquitetura 32 bits aumenta o desempenho do *core* e, caso seja necessário uma otimização de tamanho de código, pode-se usar, no mesmo processador, as instruções *Thumb*. Por isso é um processador muito versátil e completo.

- **MSP430**: Processador muito simples e com bastante documentação. O problema em sua implementação é o mesmo encontrado no 8051 e no PIC, a escalabilidade é muito baixa. Além disso, o processamento do MSP430 é muito limitado, tornando o controlador muito suscetível à obsolescência. As APIs que encontramos para o controlador são um conjunto de funções voltadas para aplicações pequenas e médias. Além disso, os pinos de IO são, em média, muito poucos perto de um ARM ou de uma FPGA, por exemplo. Um sistema operacional não é uma opção neste controlador.
- **AVR (Arduino)**: O AVR é ideal para aplicações simples. Os kits Arduino geralmente funcionam muito bem para dois ou três blocos funcionais funcionando ao mesmo tempo em seu *core*. Para aplicações mais complexas, o controlador não suporta uma grande expansão. A documentação do controlador, em contrapartida, é boa e bastante disponível. Fica como segunda opção, ao lado do PIC. Não suporta um sistema operacional, como o Linux, por exemplo.
- **PIC**: Um controlador bastante disponível e com grande número de opções. O processamento dele, porém, é muito deficitário em caso de futuras expansões. A documentação e projetos de referência na internet são bastante vastos. Tem uma aplicação simples, tanto no que se refere ao *software* como ao *hardware*. A desvantagem em relação ao Arduino é que o desenvolvimento da placa provavelmente terá que ser feito do zero, pois os kits de desenvolvimento disponíveis são mais voltados para o aprendizado e, portanto, tem *cores* muito simples. A escalabilidade é outro problema, pois o controlador não tem uma grande capacidade de expansão. Por mais que estejam disponíveis alguns códigos de sistemas operacionais para o PIC, como o uCLinux, são sistemas operacionais muito enxutos, que virão sem a maioria das pilhas de protocolos que poderíamos usar, como a pilha TCP/IP e a USB. Por isso, não é um controlador ideal para a aplicação.

- **FPGA:** Com uma arquitetura de *hardware* programável, apresentam uma complexidade muito alta e, por isso, a documentação também é muito mais técnica e pesada. Existem APIs dos mais diversos tipos, porém caso exista a necessidade de uma alteração nestas APIs, essa se torna muito mais complexa que as alterações em plataformas microcontroladas. Como o desenvolvimento é muito ligado ao *hardware*, a disponibilidade de pinos de IO e a escalabilidade são as maiores possíveis. A programação em VHDL ou Verilog torna a plataforma com baixa simplicidade. Os custos de desenvolvimento em uma FPGA também são bem mais elevados, pois além do CI em si ser mais caro, a memória é externa ou, se optada por coloca-la internamente, o preço do *chip* cresce bastante. Como é uma plataforma de programação em *hardware*, é possível emular um controlador e embarcar um sistema operacional nesta arquitetura, porém o custo da aquisição do controlador em um CI é bem menor e bem mais simples. Por isso, consideramos que não é viável um sistema operacional. A opção da adoção de uma FPGA é descartada por hora, pois a aplicação não será grande o bastante para que justifique um desenvolvimento como este.

Portanto, a primeira opção para a implementação é o controlador ARM, pois oferece a escalabilidade e a capacidade de processamento que desejamos aplicar neste módulo. Como segundas opções ficamos com o PIC, caso tenha tempo disponível para o desenvolvimento de um *hardware* próprio ou um AVR, com placa Arduino, caso não exista tempo ou recurso hábil para o desenvolvimento do *hardware* e que esse fique apenas no desenvolvimento do *software*.

2.1.2.2 Kits de Desenvolvimento

Do processador ARM, foram 4 os kits analisados, de vários fabricantes. Os valores apresentados foram tomados como base no dia 23/03/2012 e os cálculos para conversão de moedas utilização como base a cotação do dólar de US\$ 1,00 equivalendo a R\$ 2,00. As estimativas de preço para cada módulo não levaram em consideração as taxas de importação e de envio, pois se pressupõe que os valores de entrega serão iguais para cada kit e os impostos serão cobrados proporcionalmente ao valor da aquisição, o que faz com que esses gastos

excedentes não gerem interferência na comparação de Custo x Benefício dos kits, alterando apenas o valor final.

A seguir, vemos uma breve descrição dos kits analisados seguidos de um quadro comparativo com os kits:

- **STM32-VLDiscovery (STMicroelectronics)**: Um kit simples e bastante barato. Possui um ARM Cortex-M3, linha de baixo custo da família ARM Cortex. É um kit que tem poucas APIs disponíveis e não suporta um sistema operacional embarcado para operações muito complexas. Não tem periféricos na placa, apenas uma interface para programação via USB[5]. Os periféricos do controlador são quase todos timers. Em contrapartida, a capacidade de processamento, para um primeiro desenvolvimento, é mais do que suficiente e tem vários pinos de IO acessíveis. Neste caso, o preço foi o que mais pesou na escolha, pois o kit custa apenas **US\$ 9,90**. Não tem displays de LCD e possui apenas 2 leds. Caso decida-se pela utilização de um display, a implementação deverá ser feita desde o começo. Ainda assim é um ótimo kit.



Figura 4 - Kit STM32-VLDiscovery
Fonte: STMicroelectronics [11][11].

- **Micro2440 (FrendlyARM)**: Um kit muito popular, conta com um core AMR920T[12], com uma boa capacidade de processamento. O kit tem vários usuários ao redor do mundo, por isso as documentações e os fóruns são bastante disponíveis. Tem poucos pinos de IO disponíveis, porém vem com vários periféricos, como USB, Ethernet, Serial, header para LCD touchscreen e entrada para cartão SD[12], que compensa a falta de pinos de IO. Ainda assim, o preço é um pouco alto, custando em média **US\$ 160,00**. Um kit completo e acessível, que fica como segunda opção.

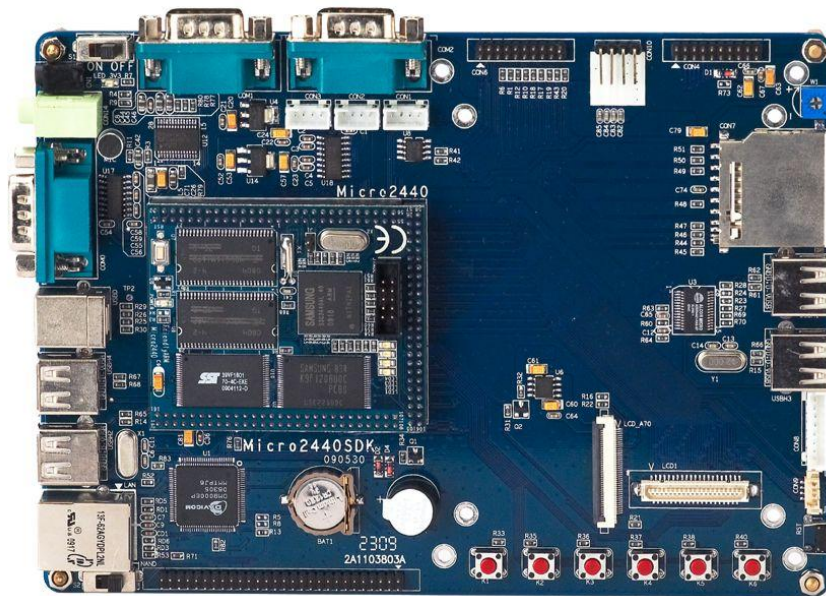


Figura 5 - Kit Micro2440.
Fonte: FriendlyARM [12].

- **TMDSEXPL138 (Texas Instruments):** O kit conta com um processador OMAP-L138 da Texas Instruments, que é composto por dois *cores*, um ARM926EJ-S e um C6000[13] (linha de DSPs da fabricante). Muito completo, porém com um custo muito elevado. Possui a possibilidade de trabalhar com um Linux ou um Windows CE embarcados. Além disso, possui saída USB, Ethernet, cartão SD e display de LCD touchscreen. Tem, também, uma quantidade razoável de pinos de IO acessíveis[13]0. A complexidade do desenvolvimento, tanto pela arquitetura *dual core* quanto pela complexidade de cada *core* inviabiliza, em um primeiro momento, a utilização destes para o módulo fixo. O preço dele também é bastante elevado, **US\$ 495,00**. O desenvolvimento num kit desses fica como alternativa para um *upgrade* futuro do módulo móvel, que seja capaz de eliminar a necessidade de um *host* e fazendo com que o módulo fixo seja o ponto final de processamento de disponibilização dos dados para o usuário final. Sua utilização não é descartada para o produto final, mas fica inviável para o uso no desenvolvimento inicial.



Figura 6 - Kit TMDSEXPL138.
Fonte: Texas Instruments [14].

- **eAT55 (eSysTech)**: O kit conta com um core ARM7TDMI[15], que é um processador antigo, mas ainda bastante poderoso. O kit saiu de linha, mas ainda conseguimos encontrá-lo para venda por em média R\$ 250,00 ou **US\$ 125,00**. Pelo fato de ser um kit antigo, os periféricos presentes na placa não são de grande apelo, porém ela possui vários pinos de IO disponíveis. Além disso, o tamanho dela é muito grande e a interface de programação é por porta paralela, o que dificulta o processo, tendo em vista que a maioria dos computadores e notebooks mais novos não contam mais com esse tipo de interface. Em resumo, é um kit inviável para uso.



Figura 7 - Kit eAT55.
Fonte: eSysTech [15].

Com isso, obtemos o Quadro 4:

Kit	Recursos	Simplicidade	Família	Core	S.O. Embarcável?	Preço dos Kits (US\$)
STM32-VLDiscovery	2	5	Cortex-M	Cortex-M3	Não	* 9,90
Micro2440	4	3	ARM9TDMI	ARM920T	Sim	160,00
TMDSEXPL138	5	1	ARM9E	ARM926EJ-S	Sim	495,00
eAT55	3	3	ARM7TDMI	ARM7TDMI	Sim	125,00

*Kit escolhido.

Quadro 4 - Tabela comparativa para o microcontrolador do módulo fixo.
Fonte: Própria.

Como primeira opção, utilizaremos o STM32-VLDiscovery, mais por causa do seu preço que de seus benefícios. Como segunda opção, caso o kit seja insuficiente, utilizaremos o Micro2440, por apresentar periféricos mais completos. O kit TMDSEXPL138 é o kit ideal para uma expansão e um futuro *upgrade* no módulo e deve ser encarado como uma alternativa mais completa e robusta que as outras.

2.1.3 Considerações

Chegamos à conclusão dos processadores e kits que serão usados no desenvolvimento.

Como módulo móvel, optamos pelo MSP430, com o kit eZ430-RF2500. As características que são mais importantes para nossa aplicação são as que seguem.

Como controlador, o MSP430F2274, presente no kit eZ430-RF2500, conta com as seguintes características técnicas, que são mais relevantes para o desenvolvimento. As informações foram retiradas do *datasheet*[16]:

- Alimentação de 1.8V a 3.6V.
- Consumo médio de 270 μ A em modo ativo e de 0,7 μ A em modo de *standby*.
- Tempo de 62,5 μ s/instrução.
- Oscilador interno que gera clocks de até 16MHz
- 32KBytes de Flash
- 1KByte de RAM.
- 4 Ports de entrada e saída com 8 pinos cada. O *design* do kit limita esses acessos.

O kit eZ430-RF2500 conta com[9]:

- Duas *Target Boards* iguais.
- Um módulo de interface para *debug* e programação, via USB.
- Módulo com duas pilhas 1.5V, para alimentação independente da *target board*.

Cada *target board* conta com as seguintes características, retiradas do *User's Guide* do kit[9]:

- Controlador MSP430F2274.
- 2 LEDs, para *debug*.
- Antena para RF, com operação em 2,4GHz.
- Controlador de antena CC2500, para controle da antena de RF.
- 15 pinos de IO de uso geral, sendo 4 compartilhados com o CC2500.
- 3 pinos de alimentação acessíveis.

O kit STM32-VLDiscovery conta com o controlador STM32F100RB. Este controlador tem as seguintes características, retiradas do *datasheet*[16]:

- Alimentação de 2.0V até 3.6V.
- Frequência de operação de até 24MHz.
- Performance de 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1).
- 128 KBytes de Flash.
- 8 KBytes de RAM.

O kit STM32-VLDiscovery, por sua vez, conta com as seguintes características mais importantes[17]:

- 52 pinos de IO de uso geral.
- 7 pinos de alimentação acessíveis para uso.
- Dois LEDs para *debug*.
- Interface de programação via USB embutida na placa de desenvolvimento.

Com isso, teremos um custo aproximado de US\$ 143,84:

Aquisição	Custo Nominal (US\$)	Custos adicionais (US\$)		Custo Final (US\$):
		Entrega:	Custo Importação (60%):	
eZ430-RF2500	40,00	20,00	36,00	96,00
STM32-VLDiscovery	9,90	20,00	17,94	47,84
Total:				143,84

Quadro 5 - Tabela de custos das placas com taxas de importação.
Fonte: Própria.

Trabalhando com a hipótese de que a *Texas Instruments* banque com as taxas de importação e de entrega do módulo, a conta fica em US\$ 87,84:

Aquisição	Custo Nominal (US\$)	Custos adicionais (US\$)		Custo Final (US\$):
		Entrega:	Custo Importação (60%):	
eZ430-RF2500	40,00	0,00	0,00	40,00
STM32-VLDiscovery	9,90	20,00	17,94	47,84
Total:				87,84

Quadro 6 - Tabela de custos das placas isenta das taxas de importação.
Fonte: Própria.

Com isso, conclui-se o estudo das tecnologias para o controlador utilizado nos módulos móvel e fixo.

2.2 TRANSMISSORES WIRELESS

Focamos o estudo dos transmissores wireless em três principais tecnologias:

- Bluetooth
- ZigBee
- CC2500

Cada tecnologia será detalhada a seguir, com as seguintes considerações.

2.2.1 Bluetooth

Uma tecnologia proprietária, com seus fundadores principais sendo as empresas Ericsson, IBM, Intel, Toshiba e Nokia. As empresas criaram um consórcio, em 1998, para a venda da propriedade intelectual da pilha de protocolos Bluetooth. Em 1999 a primeira pilha foi operacionalizada. Desde então, diversas companhias se juntaram a esse consórcio e ajudam a melhorar e desenvolver o Bluetooth[16].

O Bluetooth trabalha na faixa de frequência de 2,40GHz até 2,48GHz e é utilizado para criar uma *PAN* (*personal area network*, ou em português, rede de área pessoal)[16]. Tem como foco o baixo consumo e, conseqüente, o baixo alcance.

Como é voltado para o baixo consumo, os módulos Bluetooth são geralmente pequenos, o que é um diferencial para a tecnologia. Existem vários módulos de Bluetooth comerciais para desenvolvimento, que podem variar de US\$ 20,00 até US\$ 500,00.

O Bluetooth, por ser proprietário, geralmente tem uma implementação mais simples e de mais alto nível, porém é menos versátil que as outras tecnologias.

Como o foco do Bluetooth é de comunicação ponto-a-ponto, a escalabilidade dos dispositivos, caso exista a necessidade de um acréscimo futuro de mais nós à rede, fica comprometida, o que descarta seu uso neste exato momento da implementação.

2.2.2 ZigBee

O ZigBee é constituído por várias normas de comunicação wireless, voltados para o baixo consumo e baixas distâncias. É uma especificação da IEEE, norma 802.15.4[19][18]. Pode operar nas frequências 868 MHz, 915MHz e 2.4 GHz e tem uma taxa de transferência que pode chegar até 900 Kb/s[19].

Tem uma vantagem sobre o Bluetooth, pois é capaz de criar redes com vários nós sem que estes precisem de um elemento central para roteamento dos pacotes de informação, trabalhando com a topologia *mesh*.

O módulo é ideal para uma futura expansão da capacidade do módulo fixo, tendo em vista que um único módulo fixo poderá lidar com mais de um módulo móvel de forma mais simples que o implementado com a tecnologia Bluetooth.

Como o ZigBee é uma especificação mais voltada para o tratamento de métodos de acesso ao canal, o desenvolvimento fica um pouco mais complexo que o feito com Bluetooth.

Existem kits de desenvolvimento ZigBee com preços que variam de US\$ 30,00 até alguns que podem chegar a custar US\$ 700,00. Portanto, é uma tecnologia um pouco mais cara que o Bluetooth.

Com isso, a tecnologia fica como segunda opção na escolha do desenvolvimento do módulo móvel.

2.2.3 CC2500

O controlador de antena de radiofrequência CC2500 é um *design de hardware* proprietário da *Texas Instruments* idealizado para aplicações de baixíssimo consumo para operação na faixa de frequências entre 2400 MHz até 2483.5 MHz[20].

O CC2550 não contempla uma antena interna, o que possibilita a customização do *hardware*. O controlador pode fornecer diversos tipos de modulação, bem como controle de canais de transmissão, endereçamento de pacotes, *checksum*, detecção de uso do canal e *data buffering*, todos realizados por *hardware*[20].

O CC2500 se concentra na implementação do acesso ao meio de comunicação e não prevê a pilha de protocolos necessários para gerenciar as informações em mais alto nível. Por isso, a fabricante fornece uma pilha de protocolos de código aberto chamada *SimpliciTI*, que pode fazer pequenas redes *mesh* para a operação de redes com até 127 nós[13]. A opção para a utilização ou não dessa pilha de protocolos será discutida na sessão 3.1.2.

O kit eZ430-RF2500 já conta com o controlador CC2500, por isso a opção para a utilização desta tecnologia para a implementação do módulo móvel. Assim, o custo de aquisição da tecnologia para a implementação da comunicação wireless fica embutido no preço de aquisição do módulo acima citado.

2.2.4 Considerações

Como o kit eZ430-RF2500 já conta com um controlador para comunicação wireless, optou-se pela adoção deste, num primeiro momento, para a implementação da comunicação. Caso a implementação seja muito complexa ou precise ser alterada, a segunda opção será a adoção de um módulo ZigBee para a comunicação sem fio.

As especificações do controlador de antena CC2500 que mais são relevantes para o desenvolvimento do módulo wireless são as seguintes, sendo todas elas retiradas do datasheet do componente[20]:

- Alta sensibilidade (-104 dBm a 2,4kbps).
- Baixo consumo (13,3mA a 250kbps).
- Potência de TX de até 1dBm.
- Data rate programável de 1,2 a 500kB.
- Frequência de operação de 2400-2483,5 GHz.
- 4 modulações suportadas: OOK, 2-FSK, GFSK e MSK.
- Suporte *on-chip* para detecção de palavra de sincronia, checagem de endereço, tamanho flexível de pacotes e cálculo de CRC.
- Interface SPI.
- Análise de qualidade de link.
- Consumo de 400 nA em modo *sleep*.

Como o kit eZ430-RF2500 já vem com o CC2500 e uma antena integrados, não haverá gastos extras com esta aquisição.

2.3 TRANSDUTORES

Como transdutores, a necessidade é quase que exclusivamente de que ele seja pequeno e que seja capaz de saber qual a sua própria orientação em relação ao solo.

A única opção encontrada que não fosse mecânica foi o acelerômetro. Algumas opções que envolviam análise de imagens também foram pesquisadas, porém a complexidade de implementação de tais sistemas é muito alta, por isso foram descartados.

Como existia a disponibilidade de poucos pinos para a implementação da interface entre o MSP430 e o transdutor, além de ambos serem alimentados por pilhas, as características principais para a aquisição do componente foram as seguintes:

- Interface SPI ou I²C, para economia de pino.
- Saída digital, para evitar o uso de um conversor A/D e capacitores e resistores extras.
- Baixo consumo.

- Fácil acesso aos pinos seja por *socket* ou por encapsulamentos (como DIP, SOIC ou PGA).

Como a maioria dos acelerômetros DIP disponíveis no mercado são analógicos, optou-se pela aquisição de um acelerômetro MMA7660FC, da *Freescale*, que, mesmo sendo encapsulamento DFN, ele pôde ser adquirido soldado a uma placa que expõem os pinos para fácil acesso, como mostra a Figura 8:

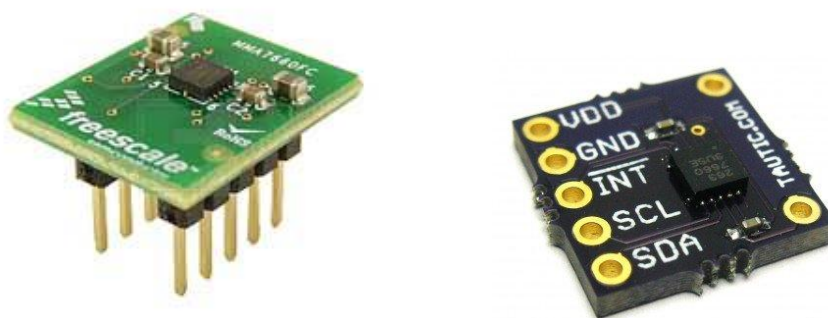


Figura 8 - Placas para o acelerômetro.
Fonte: Future Electronics [21][32].

Cada módulo custou US\$ 35,00, sendo adquiridos no total dois destes. Estimando a entrega em US\$ 20,00 para cada um, ficamos com um valor total estimado de **US\$ 110,00** descontando-se os impostos.

O acelerômetro possui as seguintes características principais:

- Consumo mínimo em modo ativo de até 47 μA .
- Comunicação i^2C .
- Operação entre 2,4V e 3,6V.
- Eixos X, Y e Z.
- Sensibilidade de $\pm 1,5\text{g}$.
- Até 120 amostras por segundo.
- Saída digital com resolução de 6 bits.

2.4 BATERIAS E PILHAS

A utilização de pilhas ou baterias é necessária alimentação do módulo móvel, já que este, segundo o proposto, não pode possuir um cabo de alimentação.

- Os requisitos principais para a escolha desta alimentação são:
- Dimensões físicas, que precisam ser pequenas o suficiente para atender as especificações do produto;
- Tensão de saída, sendo de 2,8 a 3,6 volts;
- Autonomia, sendo que é necessário que esta fonte tenha pelo menos 10 horas de autonomia, o que representa uma noite de sono.

Seguindo estes critérios, 3 principais opções foram estipuladas, sendo estas pilhas alcalinas, baterias recarregáveis e bateria de lítio.

2.4.1 Pilhas Alcalinas

No caso das pilhas alcalinas, necessita-se de 2 pilhas com tensão de 1,5V cada e um adaptador para o posicionamento destas junto aos demais componentes do produto. A dimensão do adaptador (53x13x23 mm) excede o estipulado para o maior conforto na utilização do produto. O adaptador estudado e utilizado nos primeiros protótipos esta abaixo.



Figura 9 - Pilhas alcalinas com adaptador.
Fonte: Texas Instruments [10].

2.4.2 Baterias Recarregáveis

Já as baterias recarregáveis possuem esta vantagem de não precisarem ser trocadas, e possuem uma espessura (5 mm) mais fina que as pilhas alcalinas. No entanto, possuem uma tensão de saída nominal de 3,7V, excedendo o limite de 3,6V especificado, necessitando um

divisor de tensão. Outro empecilho é a falta de adaptadores com dimensões pequenas. Na Figura 10 esta a bateria utilizada no estudo.

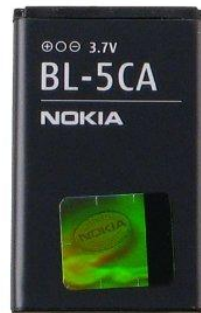


Figura 10 - Bateria recarregável.
Fonte: LondonCell [22].

2.4.3 Bateria de Lítio

O último tipo de alimentação para o módulo móvel foi a bateria de lítio. Esta possui dimensões bem menores do que as demais, sendo que junto com o adaptador seu tamanho é de 25x20x6 mm. Além disso, sua tensão nominal é de 3V, o que está dentro do requerido, e ainda possui uma autonomia maior do que as pilhas alcalinas. A Figura 11 mostra a bateria utilizada.



Figura 11 - Bateria de lítio CR 2032 e seu adaptador.
Fonte: Dicom [23] e Mauser [24].

2.4.4 Considerações

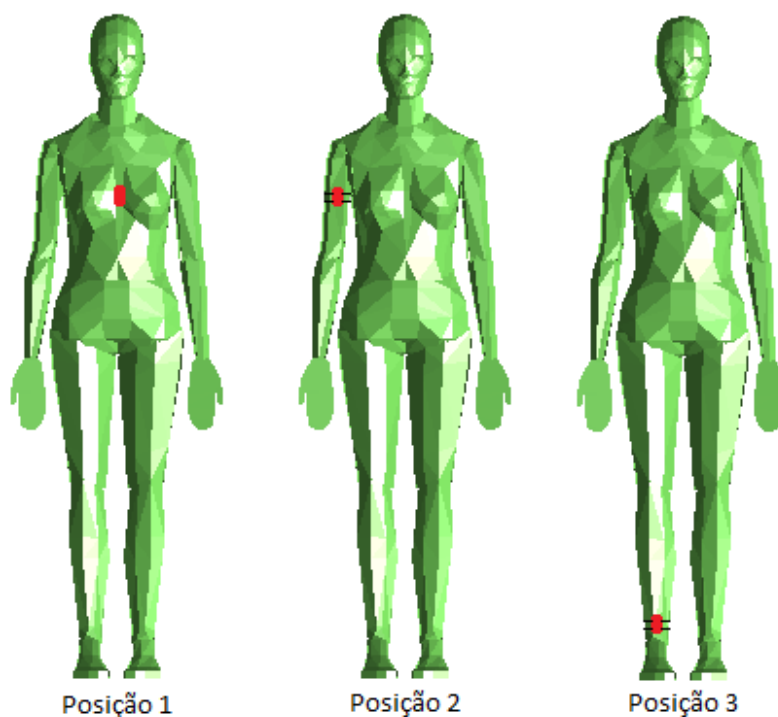
Observando as características de cada bateria, a que melhor se encaixa nos requisitos do produto é a bateria de lítio, tendo o menor tamanho físico, uma boa autonomia e tensão de saída dentro dos limites para alimentar o circuito.

2.5 EMBALAGENS ANATÔMICAS

Como o módulo móvel estará acoplado ao corpo do paciente para registrar suas respectivas posições, este necessita possuir um formato que seja confortável ao uso. Como características principais do módulo estão o tamanho físico pequeno, que não atrapalhe a movimentação do usuário, um formato que se encaixe ao seu corpo e a escolha de uma posição para acoplar no corpo que ao mesmo tempo registre a posição e seja confortável ao usuário.

2.5.1 Posição do módulo no corpo

Como o módulo necessita registrar o posicionamento torácico, estudamos algumas posições onde este registro é feito e que sejam possíveis de acoplar o módulo. Na Figura 12 esta uma representação destas posições.



**Figura 12 - Representação da posição do módulo móvel no corpo do usuário.
Fonte: Própria.**

A posição 1 traz o módulo (em vermelho) acoplado no peito do usuário, este acoplamento seria feito com fita micropore. Esta posição requer um módulo achatado, para este não pressionar o peito da pessoa.

A posição 2 tem o módulo preso à parte frontal do braço do paciente, esta posição capta os registros necessários e deve ser presa ao braço com adaptador, como um bracelete ou também com fita micropore.

Já a posição 3 tem o módulo preso à parte frontal da perna humana. Nesta um adaptador também pode ser usado, porém os registros não são muito precisos, visto que a posição da perna e a torácica podem ser diferentes em até 90 graus.

2.5.2 Modelo do módulo móvel

Um esboço de modelo foi desenvolvido, buscando apenas salientiar a necessidade de um módulo que se acople melhor ao corpo humano. Para isso, foi desenvolvido um módulo achatado, com dimensões de 52x32x20 mm e com bordas suficientemente arredondadas, para o maior conforto. Na Figura 13 segue um exemplo simples deste módulo, juntamente com a distribuição interna dos principais componentes.

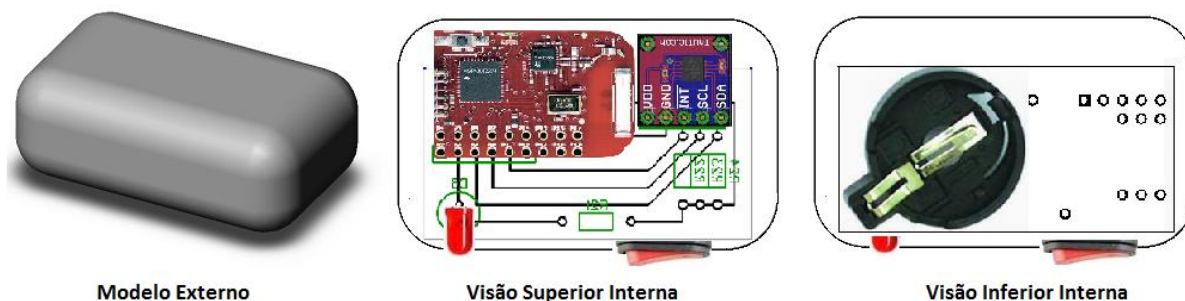


Figura 13 - Modelagem do módulo móvel.

Fonte: Própria e referentes a Figura 3 - Kit eZ430-RF2500. e a Figura 11 - Bateria de lítio CR 2032 e seu adaptador.

Outro quesito importante no módulo móvel é a maneira deste se prender ao corpo do usuário, onde pode ser feito tanto com uma fita micropore, quanto com uma braçadeira semelhante à mostrada na Figura 14.



Figura 14 - Braçadeira para anexar o módulo móvel.
Fonte: Império [25].

2.5.3 Considerações Finais

Observando as posições e o tamanho final do módulo obtido, opta-se por utilizar este módulo tanto na posição do centro do peito, quanto no braço, deixando ao próprio usuário escolher de acordo com seu maior conforto. O adereço utilizado para fixar o módulo ao corpo também fica a critério do usuário.

Já as dimensões do módulo podem ser reduzidas caso este venha a ser produzido em maior escala, visto que não foi possível a redução nesta etapa pela falta de tecnologia disponível para produção em pequena escala. Com esta redução o aparelho se torna mais viável e não interferirá no sono do usuário, trazendo uma confiabilidade maior as medidas efetuadas.

3 DESENVOLVIMENTO

Os módulos, tanto o móvel como o fixo, serão implementados em *bare metal*, ou seja, com o código partindo do zero e sem sistema operacional.

A estruturação do código foi previamente discutida e decidiu-se utilizar uma estrutura em camadas.

A estrutura em camadas apresenta algumas vantagens e desvantagens de outras técnicas de programação. Entre os prós, estão:

- Maior controle do código, pelo fato de ele ser segmentado em diversos pequenos blocos funcionais.
- Desenvolvimento estruturado, pois é possível planejar o funcionamento previamente.
- Portabilidade, pois poucas mudanças e em poucas camadas são suficientes para levar o código de uma plataforma à outra.
- Rastreabilidade de *bugs*, pois encontrar e corrigir os bugs se tornam tarefas mais fáceis.
- Códigos com blocos funcionais mais sucintos, objetivos e inteligíveis. Um novo programador consegue entender mais facilmente como o código funciona.

Porém, como a estruturação multicamadas do código pode apresentar alguns contras, dos quais podemos destacar:

- O tamanho do código, que passa a contar com uma otimização menor.
- Muitos arquivos, que aumentam a árvore hierárquica.
- Maior complexidade, pois os blocos funcionais devem ser mais generalistas, tornando o código mais complexo.
- Desempenho pior, pois os códigos não são otimizados para uma função específica.

Para o desenvolvimento dos códigos referentes ao módulo móvel e parte do módulo fixo, considerou-se um modelo com cinco camadas. Já para outra parte do módulo fixo, além do programa computacional, considerou-se o uso de APIs prontas, para reduzir o tempo de desenvolvimento e simplificar o processo.

Para o desenvolvimento multicamadas consideramos que cada camada e cada bloco funcional deveriam assumir as seguintes premissas:

- Não ficassem limitados à aplicação atual, contemplando o máximo possível das funcionalidades que os componentes disponibilizam.
- Cada camada deveria acessar apenas a camada inferior e ser acessada apenas pela superior, como exemplo da pilha de protocolos TCP/IP.
- As variáveis e funções devem ter nomes instrutivos.

Para a adoção das APIs, consideramos:

- As funcionalidades atendam a todas as nossas necessidades.
- Os códigos das APIs não precisem, em momento algum, serem alterados.
- Evitar escolher APIs que contenham bugs, de qualquer natureza.

São previstos quatro códigos que devem ser implementados nos controladores. Cada código deve ser responsável por fazer os ajustes de *hardware* e realizar a comunicação entre os componentes de cada módulo. Os códigos serão:

- MSP430 do módulo móvel: Chamado de TX e se baseia no modelo multicamadas.
- MSP430 do módulo fixo: Chamado de RX e também se baseia no modelo multicamadas.
- ARM do módulo fixo: Utiliza o modelo multicamadas para a comunicação com o MSP430 e APIs para a comunicação com o computador.

A estruturação do modelo multicamadas assumiu cinco camadas distintas, sendo elas, em ordem decrescente, as seguintes:

- Camada Um: Atribuições de Hardware. Responsável por atribuir *aliases* para endereços e locais de memória, para identificar os registradores e flags usados pelo *hardware*. Utiliza-se de diretivas do pré-processador C, para reduzir o tamanho do programa.
- Camada Dois: Manipulações Básicas. Implementa a manipulação dos pinos e registradores, executando rotações de *bytes*, aplicando máscaras de bits, setando e limpando um bit ou um conjunto de bits em uma mesma instrução de código. Também se utiliza das diretivas do pré-processador C.

- Camada Três: Funções Básicas. Nestas camadas, os códigos de manipulação dos pinos e registradores são usados para identificar sua finalidade, como setar/limpar pinos de *clock*, ligar e desligar leds, ou executar pequenas manipulações com os pinos e registradores, seja por *macros* ou por pequenos códigos.
- Camada Quatro: Protocolos de Comunicação de Hardware. Aqui, os protocolos de comunicação são implementados. As temporizações, as sequências de acionamentos dos bits e a manipulação dos *bytes* são definidas, conforme o *datasheet* do componente indica. Utiliza-se, essencialmente, de códigos em C puro, e não mais do pré-processador.
- Camada Cinco: Comunicação. Por fim, a camada cinco descreve e executa a lógica da comunicação entre os componentes de cada módulo.

Com as camadas definidas, vê-se na Figura 15 a estruturação para a árvore lógica do código multicamadas:

Diretório	.\	
Main	main.c main.h	
Diretório	.\Header Camadas	.\Source Camadas
Camada 5	\camada5_Comunicacao.h	\camada5_Comunicacao.c
Camada 4	\camada4_ProtocolosComunicacaoHW.h	\camada4_ProtocolosComunicacaoHW.c
Camada 3	\camada3_FuncoesBasicas.h	\camada3_FuncoesBasicas.c
Camada 2	\camada2_ManipulacoesBasicas.h	\camada2_ManipulacoesBasicas.c
Camada 1	\camada1_AtribuicoesHW.h	\camada1_AtribuicoesHW.c

Figura 15 - Estruturação do código multicamadas.
Fonte: Própria.

3.1 MÓDULO MÓVEL

O módulo móvel é composto por três blocos funcionais fundamentais. São eles:

- Controlador: MSP430
- Transmissor Wireless: CC2500 e Antena RF para 2,4GHz

- Transdutor: Acelerômetro

O esquema funcional é como o que segue na Figura 16:

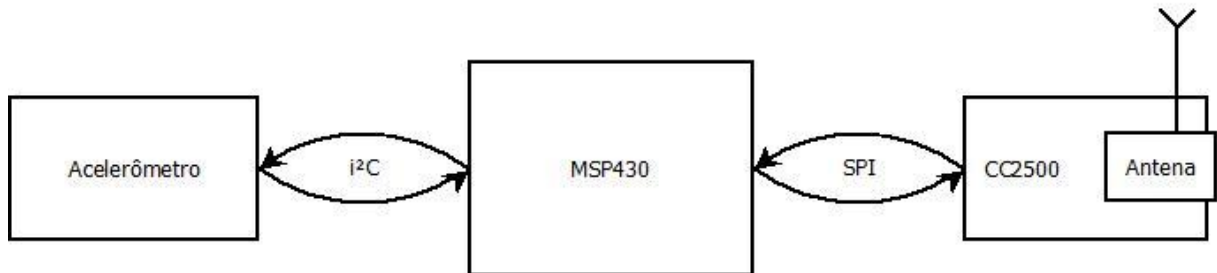


Figura 16 - Blocos funcionais do módulo móvel.
Fonte: Própria.

O único componente que deve ser programado diretamente é o MSP430. Por meio do firmware desenvolvido para ele, a configuração do acelerômetro e do CC2500 podem ser feitas.

O acelerômetro e o CC2500 utilizam comunicação serial com o MSP430, sendo aplicados os protocolos I²C para o primeiro e SPI para o segundo.

O modelo utiliza, na camada um, apenas macros para definição de *aliases* para os registradores e seus endereços, tanto para o acelerômetro quanto para o CC2500 e o próprio MSP430. Já na camada dois, as manipulações de pinos do MSP430 são definidas em macros, realizando *set* e *clear* em pinos de uma port em específico, além de performando leituras de pinos das *ports* disponíveis.

Por isso, pode-se notar que as camadas um e dois são usadas exclusivamente pelo pré-compilador C e são abstrações léxicas de entidades físicas, portando não geram códigos se não usados.

3.1.1 Implementação do Acelerômetro

O acelerômetro possui diversas funcionalidades disponíveis, que podem gerar sinais de interrupções na detecção de batidas, quando o componente se encontra numa orientação específica ou quando é chacoalhado.

Além disso, o *data rate* é fixado no momento do *setup* do componente, e cada nova amostra que é gerada pode, também, gerar um sinal de interrupção.

Optou-se pela geração de um sinal de interrupção apenas quando a amostra estivesse pronta, gerando 16 amostras de cada eixo por segundo.

As funções que usamos para o controle do acelerômetro, encontrada no código fonte, são as descritas a seguir.

Da camada quatro, encontram-se as funções:

- *void init_acc();*

Faz as configurações iniciais do componente, definindo a taxa de amostragem como sendo de 16 *samples/segundo* e gerando interrupção após cada geração de valor de leitura.

- *unsigned char send_register_acc(unsigned char byte, int i);*

Envia um endereço de registros ao acelerômetro. Recebe um argumento que é o *byte* a ser enviado, contendo o valor do registrador, e outro argumento *i* que indica o tamanho, em bits, do valor.

A função devolve 0 se a comunicação foi bem sucedida.

- *int read_acc(int i);*

A função lê um valor de *i* bits do acelerômetro e retorna esse valor.

- *void slave_I2C_send(unsigned char REG, unsigned char DATA);*

Aqui, a lógica do protocolo é implementada, fazendo com que as condições de *start*, *start repeat* e *stop*, bem como a sequência de *clock* e de *set* e *clear* dos pinos da comunicação são implementados.

Recebe o endereço *REG* do registrador e a *DATA* que deve ser escrita nele.

- *unsigned char slave_I2C_read(unsigned char REG);*

A leitura de um de um registrador é feita com essa função. Ela recebe o endereço *REG* do registrador e retorna o valor dessa leitura em um *unsigned char*.

Já na camada três, encontram-se as lógicas de *hardware* para a execução do protocolo de comunicação. Podemos ver as macros:

- *#define acc_sobe_clock set_P45*
- *#define acc_desce_clock clr_P45*

- *#define* *acc_bit1_SDA* *set_P43*
- *#define* *acc_bit0_SDA* *clr_P43*
- *#define* *acc_in_SDA* *P43_in*
- *#define* *acc_int* *P23_in*

Essas macros fazem a abstração do *hardware* para com o *software*, também chamada de camada *HAL*, ou *hardware abstraction layer*, pois a mudança física do *layout* dos componentes deve apenas ser alterada nesse campo, fazendo com que as camadas mais superiores sejam mantidas iguais. Além disso, encontram-se nessa camada as funções:

- *unsigned char send_start_acc();*

Implementa a sequência lógica de sinais elétricos no barramento para o início de uma transmissão com o acelerômetro e retorna *0* como *acknowledge* se o recebimento foi correto ou *1* se algo aconteceu de errado.

- *unsigned char send_stop_acc();*

Implementa a sequência lógica de sinais elétricos no barramento para o fim de uma transmissão com o acelerômetro e retorna *0* como *acknowledge* se o recebimento foi correto ou *1* se algo aconteceu de errado.

- *unsigned char send_start_repeat_acc();*

Implementa a sequência lógica de sinais elétricos no barramento para o início de uma nova transmissão com o acelerômetro e retorna *0* como *acknowledge* se o recebimento foi correto ou *1* se algo aconteceu de errado.

3.1.2 Implementação do Transmissor Wireless

O transmissor wireless é composto por dois componentes funcionais, o controlador proprietário da *Texas Instruments*, CC2500, e uma antena de RF para operação em 2.4GHz.

O único componente que necessita de configuração, no caso, é o CC2500, pois a antena é um componente passivo do *hardware* e é totalmente controlado (em questão de tensão, corrente e frequência) pelo controlador CC2500.

Optou-se por um desenvolvimento que fizesse a transmissão no tipo *burst*, ou seja, os dados são transmitidos pelo bloco de comunicação *wireless* sem nenhum tipo de confirmação de recebimento. Por isso a opção de 16 amostras por segundo, gerando um *supersampling* dos dados lidos, para que a perda de uma amostra possa ser ignorada, ao invés de tratar essa perda. Esse método de tratamento dos dados desonera o desenvolvimento e simplifica o código, porém dificulta uma detecção de uma eventual perda de comunicação com o módulo fixo.

Para o controle de erros, utilizaram-se três mecanismos: o endereço, a qualidade mínima da palavra de preâmbulo e a checagem de CRC dos pacotes. Todas essas atividades são executadas pelo *hardware* do controlador e, caso algum desses quesitos falhe, o pacote é automaticamente descartado. Além disso, usou-se uma potência de transmissão de 1dBm, com modulação 2-FSK, *data whitening* (que consiste em executar uma operação matemática com os *bytes* antes da transmissão para eliminar grande trens de zeros ou uns, diminuindo o nível DC do sinal) e códigos FEC com *interleaving* (que embaralha os bits de alguns bytes antes da transmissão, para que caso uma sequência de bits seja perdida, o código FEC seja mais eficiente na correção).

Com esses parâmetros definidos, que maximizam o possível o controle de erros, a confirmação do recebimento pode ser, num primeiro caso, deixada de lado.

Os códigos que controlam esse componentes podem ser encontrados no código com a seguinte distribuição:

Na camada quatro:

- *unsigned char cc2500_ReadRegister(unsigned char addr, unsigned char * data);*

Função que faz a implementação da requisição de um byte de status para o CC2500. Os status byte são responsáveis por informar qual o atual estado do CC2500, fornecendo informações importantes para o funcionamento do mesmo. Recebe o endereço *addr* que deve ser lido e o local, *data*, onde armazenar essa leitura. Além disso, retorna um *status byte*, com informações relevantes do CC2500.

- *unsigned char cc2500_SendCommandStrobe(unsigned char addr);*

São bits que, quando tem seus endereços acessados, geram internamente um comando ao CC2500. Recebe o endereço *addr* e retorna o *status byte*.

- *unsigned char cc2500_WriteRegister(unsigned char addr, unsigned char data);*

Implementa a função que faz a escrita em um registrador do CC2500, recebendo o endereço *addr* e o dado a ser escrito, *data*. Além disso, ela retorna o *status byte* do CI.

Na camada três, podemos as seguintes macros:

- `#define cc2500_seleciona clr_P30`
- `#define cc2500_libera set_P30`
- `#define cc2500_sobe_clock set_P33`
- `#define cc2500_desce_clock clr_P33`
- `#define cc2500_bit1_si set_P31`
- `#define cc2500_bit0_si clr_P31`
- `#define cc2500_get_so P32_in`

Essas macros abstraem o *hardware* do *software*, a camada *HAL* (*hardware abstraction layer*), e possibilitam que uma alteração no *layout* do barramento de comunicação precise apenas de uma rápida alteração no código.

Ainda na mesma camada, vê-se a macro:

- `#define spi_get_bit(var, buffer) { var *= 2; /
(buffer == 1) ? (var += 1) : (0); }`

A macro rotaciona para a esquerda a variável *var* e lê a entrada *buffer* do pino escolhido. Optou-se por essa definição e macro, pois ela é largamente usada no código, tornando-o menos poluído visualmente, e sendo uma implementação mais rápida que uma chamada de função que execute a mesma ação.

3.1.3 Alimentação

Dois tipos de alimentação foram utilizados no desenvolvimento. Inicialmente utilizaram-se duas pilhas alcalinas de 1,5 volts cada para alimentar o circuito. Para isto foi utilizado o adaptador pertencente ao kit de desenvolvimento do MSP430, como mostrado na Figura 3 Figura 1 - Kit eZ430-F2013..

Já para a montagem final do módulo, as dimensões deste adaptador se mostrou inviável para com o propósito do produto, assim este foi substituído por uma bateria de lítio

de 3 volts com um adaptador para esta, tornando o módulo 10 mm menor em comprimento e 8 mm mais fino. Este adaptador pode ser observado na Figura 11.

3.1.4 Montagem Final

Como consequência do desenvolvimento, obtiveram-se dois protótipos e cinco versões de *firmware* diferentes, que serão detalhados a seguir.

A montagem em *protoboard* não foi considerada protótipo, e sim uma etapa do desenvolvimento.

3.1.4.1 Primeiro protótipo

O primeiro protótipo contou com a ligação física dos blocos funcionais em uma placa de prototipagem padrão, furada e sem trilhas ligadas. O resultado ficou com dimensões de aproximadamente 6 cm de comprimento, por 3 cm de largura e 3,5 cm de altura.

A única dimensão que ainda deverá sofrer uma alteração para proporcionar um melhor conforto do usuário é a altura. A Figura 17 ilustra as dimensões do módulo em seu primeiro protótipo.

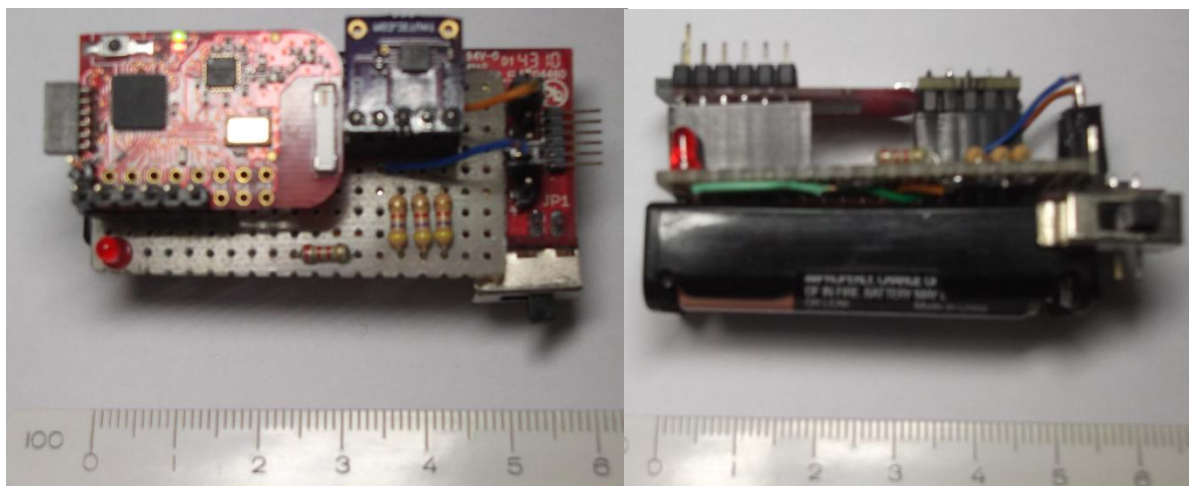


Figura 17 - Dimensões do primeiro protótipo do módulo móvel, que faz a ligação física entre o MSP430 (vermelho), o acelerômetro (azul) e as baterias.

Fonte: Própria.

Com isso, se valida o *hardware* e o *firmware*, pois o módulo cumpre com o a especificação traçada para ele.

3.1.4.2 Segundo protótipo

O segundo protótipo conta com a confecção do PCB específica para a montagem final do *hardware*, como mostra o esquemático com as dimensões na Figura 18.

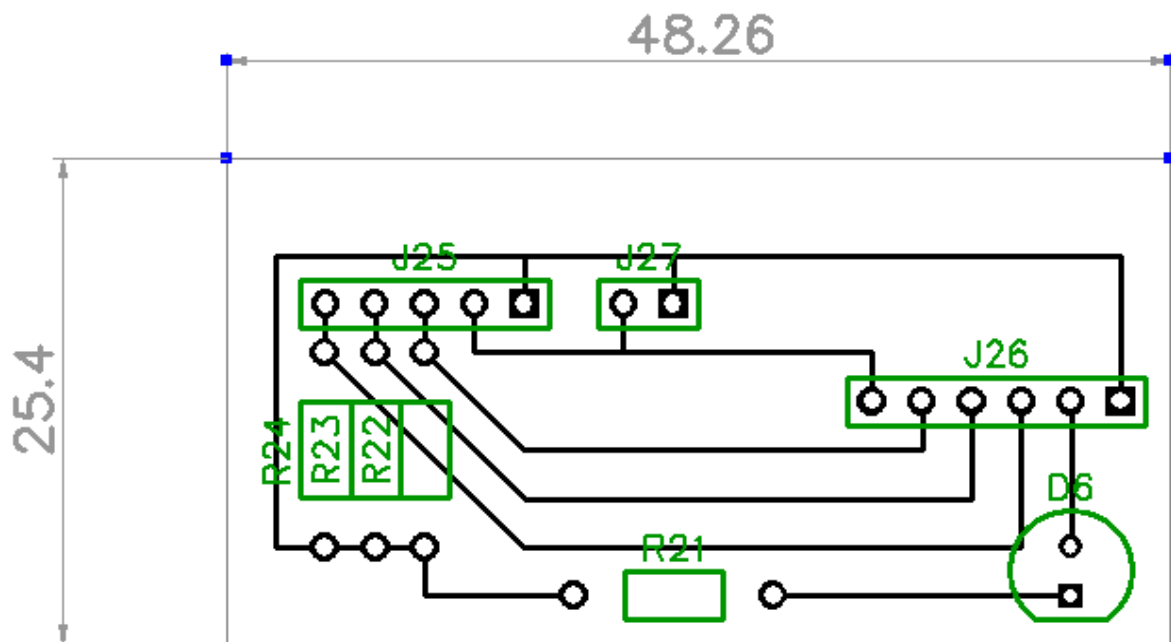


Figura 18 - Esquemático das placas do segundo protótipo.
Fonte: Própria.

Esta montagem de uma placa de circuito impresso faz parte de um **estudo de redução de tecnologia**, que trouxe além desta, outras melhorias e tornou o módulo mais próximo do proposto. Citando outras melhorias podemos observar a diminuição da fonte de alimentação, trocando as pilhas alcalinas pela bateria de lítio; e a utilização de adaptadores menores para o MSP430 e para o acelerômetro.

O resultado do estudo foi uma redução de 41.1% do primeiro protótipo (60x30x30 mm) para o segundo protótipo (53x30x20 mm) do módulo móvel. Ainda foi observado, que se o módulo atingir uma escala de produção em série, poderia ser ainda mais reduzido, o que apenas não foi realizado devido à falta de tecnologia para fabricá-lo com um custo dentro de nossos atuais orçamentos. De acordo com a análise, o modelo final poderia atingir as dimensões de 20x20x10 mm. Abaixo segue uma foto do segundo protótipo montado.

A versão final do protótipo é mostrada na Figura 19

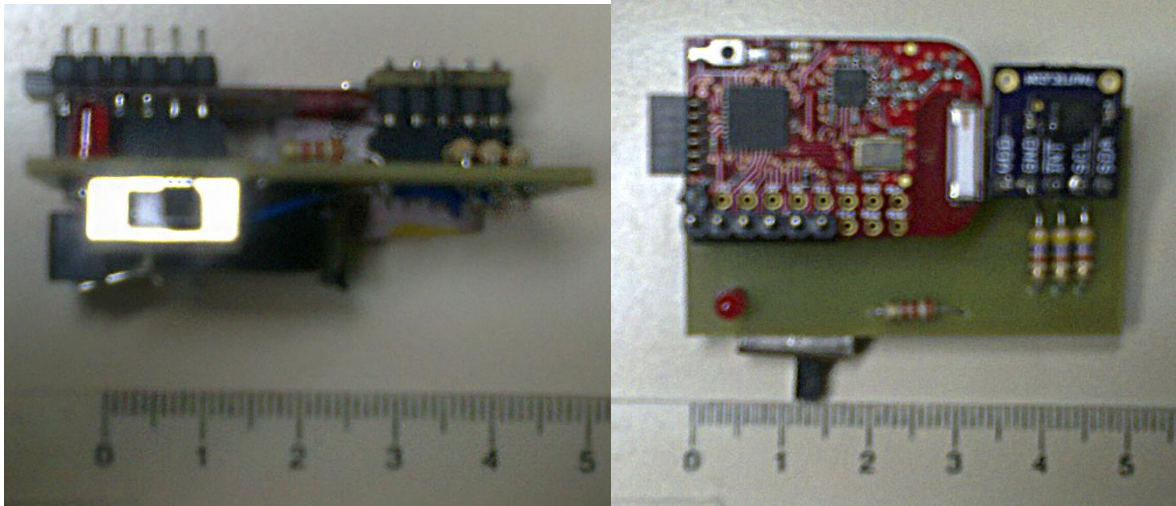


Figura 19 - Versão final do segundo protótipo.
Fonte: Própria.

Com isso, se valida o modelo do *hardware* e o *firmware* do mesmo, que proporciona uma base para o desenvolvimento do produto final.

3.1.4.3 Firmware

Optou-se pela utilização do compilador IAR EW430 v5.40.2 para o desenvolvimento do código, tanto pela familiaridade quanto pelos recursos que a ferramenta disponibiliza.

Como dito anteriormente, o *firmware* contou com cinco versões de desenvolvimento, que serão detalhadas a seguir.

- Firmware v0.1:

O controlador é capaz de enviar os dados corretamente pelo ar, numa taxa de aproximadamente 1 dado por segundo, porém aproximadamente 80% dos dados são perdidos, mas quando são lidos, chegam íntegros. Num primeiro momento era-se considerada uma comunicação sem falhas, com *handshake* e confirmação de recebimento. A função de troca de modo de operação entre recebimento (RX) e transmissão (TX) ainda não foi implementada.

- Firmware v0.2:

Abandonada a ideia de comunicação livre de falhas, pois se considerou o tempo de entrega mais importante que a confirmação de recebimento. Para isso, aumentou-se a potência de transmissão para 1 dBm, adicionou-se CRC, FEC, *data whitening*, endereçamento e ao processo de envio e recebimento. Definido uma taxa de transferência mínima de 10 dados por

segundo, em modo *burst*, de modo unidirecional e sem confirmação de recebimento. Isso agiliza o processo de leitura e envio dos dados.

Além disso, validou-se o funcionamento das ferramentas de detecção e correção de erros por *hardware*, ao receber dados durante aproximadamente 45, num total de 2735 pacotes de três bytes cada, e apenas um pacote apresentou um valor não esperado. Assim, o bloco que contempla a comunicação *wireless* está finalizado e apenas sua interface com o bloco do transdutor deverá ser desenvolvida.

- Firmware v0.3:

Implementada a comunicação com o acelerômetro, definidos os parâmetros de funcionamento a comunicação foi validada. A taxa de leitura dos dados ficou em 1 amostra por segundo para cada eixo.

- Firmware v0.4:

O código do bloco de comunicação com o acelerômetro foi reorganizado e algumas funções foram renomeadas e realocadas para manterem a filosofia do modelo multicamadas. Além disso, a taxa de amostras do acelerômetro foi reajustada para adquirir 16 amostras por segundo.

- Firmware v0.5:

Feita a reorganização do código e a interface entre o bloco de comunicação wireless e o de leitura do acelerômetro. Neste ponto, o módulo é capaz de ler 16 amostras por segundo por eixo e enviá-los, em modo *burst* com potência de 1dBm para o receptor RX. Eis a versão final do *firmware* para o módulo móvel.

3.1.4.4 Consumo e Alcance

O consumo estimado dos componentes, levando em consideração os dados do *datasheet* dos componentes é o seguinte:

- MSP430: 270 μ A
- CC2500: 13,3mA
- LED: 8mA
- Acelerômetro: 47 μ A

Com uma corrente consumida estimada em aproximadamente 21,6mA (soma das correntes acima discriminadas). A bateria utilizada tem uma carga nominal de 220mAh, que pode suportar uma operação de aproximadamente 10,2 horas.

Nos testes práticos, a bateria durou aproximadamente 17 horas ininterruptas de operação, graças às otimizações na operação dos componentes, que baixam o consumo médio dos mesmos.

O alcance, com uma bateria nova, chegou a 4 metros, com perda de menos de 10% dos pacotes.

3.1.5 Considerações

O desenvolvimento do *firmware* foi particularmente difícil, pois não possuíamos uma experiência prévia na arquitetura do MSP430 e nem em sua sintaxe de programação. O tempo de estudo da arquitetura foi acima do esperado, como será detalhado na seção 5.1. Além disso, lidou-se com dois componentes (CC2500 e acelerômetro) novos que demandaram um grande tempo extra de estudo e desenvolvimentos não tão bem sucedidos.

A grande dificuldade que o desenvolvimento apresentou foi a dificuldade de acesso a equipamentos como osciloscópio, fontes e geradores de onda.

3.2 MÓDULO FIXO

O módulo fixo conta com três blocos funcionais principais. São eles:

- Controlador: ARM Cortex-M3
- Transmissor Wireless: MSP430, CC2500 e Antena RF para 2,4GHz
- Comunicador serial: MAX232

O esquema funcional é mostrado na Figura 20:

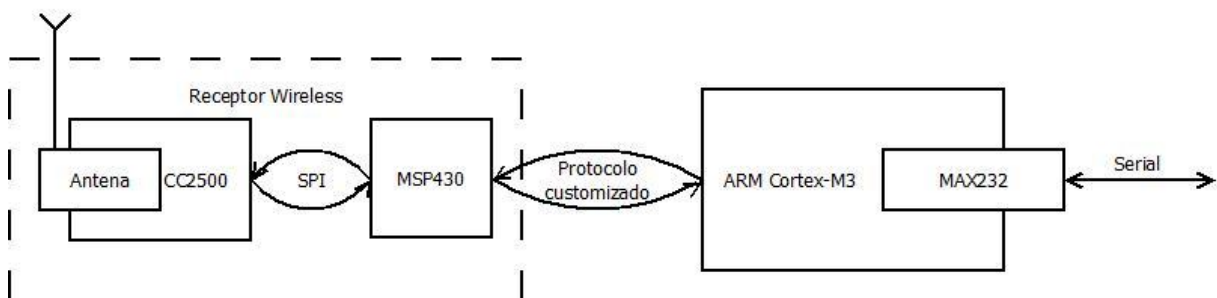


Figura 20 - Esquema funcional do módulo fixo.
Fonte: Própria.

O MSP430 e o ARM precisam de *firmwares* específicos, sendo que por meio do programa desenvolvido para o MSP430 será possível de configurar o controlador CC2500.

Para o MSP430 utilizou-se o modelo multicamadas, respeitando as cinco camadas descrito no item 3.1.4.3.

Em contrapartida, para o desenvolvimento do firmware do ARM utilizou-se um modelo híbrido, devido à complexidade do controlador. O protocolo customizado feito para comunicação com o MSP430 utiliza o modelo multicamadas, além de algumas bibliotecas customizadas disponibilizadas pelo fabricante (STMicroelectronics) e pela comunidade online (no site <http://en.radzio.dxp.pl/stm32vldiscovery/>, acesso dia 20/08/2012), que foram utilizados para implementar partes das camadas um, dois e três do modelo multicamadas. Já a comunicação serial, que é feita através do MAX232, fora implementada em cima de uma API.

3.2.1 Implementação do Receptor Wireless

Para o receptor *wireless*, que é composto pelo MSP430, o CC2500 e a antena, utilizaram-se praticamente das mesmas funções do módulo móvel. A única diferença fundamental é a configuração utilizada para que a antena operasse em modo de recepção, e não de transmissão.

A recepção é feita no tipo *burst*, ou seja, os dados são recebidos pelo bloco de comunicação *wireless* sem nenhum tipo de confirmação de recebimento. Por isso a opção de 16 amostras por segundo, gerando um *supersampling* dos dados lidos, para que a perda de uma amostra possa ser ignorada, ao invés de tratar essa perda. Esse método de tratamento dos dados desonera o desenvolvimento e simplifica o código, porém dificulta uma detecção de uma eventual perda de comunicação com o módulo fixo.

Para o controle de erros, utilizaram-se três mecanismos: o endereço, a qualidade mínima da palavra de preâmbulo e a checagem de CRC dos pacotes. Todas essas atividades são executadas pelo *hardware* do controlador e, caso algum desses quesitos falhe, o pacote é automaticamente descartado. Além disso, usou-se modulação 2-FSK, *data whitening* (que consiste em executar uma operação matemática com os *bytes* antes da transmissão para eliminar grande trens de zeros ou uns, diminuindo o nível DC do sinal) e códigos FEC com *interleaving* (que embaralha os bits de alguns bytes antes da transmissão, para que caso uma sequência de bits seja perdida, o código FEC seja mais eficiente na correção).

Com esses parâmetros definidos, que maximizam o possível o controle de erros, a confirmação do recebimento pode ser, num primeiro caso, deixada de lado.

Os códigos que controlam esse componentes podem ser encontrados no código com a seguinte distribuição:

Na camada quatro:

- *unsigned char cc2500_ReadRegister(unsigned char addr, unsigned char * data);*

Função que faz a implementação da requisição de um byte de status para o CC2500. Os status byte são responsáveis por informar qual o atual estado do CC2500, fornecendo informações importantes para o funcionamento do mesmo. Recebe o endereço *addr* que deve ser lido e o local, *data*, onde armazenar essa leitura. Além disso, retorna um *status byte*, com informações relevantes do CC2500.

- *unsigned char cc2500_SendCommandStrobe(unsigned char addr);*

São bits que, quando tem seus endereços acessados, geram internamente um comando ao CC2500. Recebe o endereço *addr* e retorna o *status byte*.

- *unsigned char cc2500_WriteRegister(unsigned char addr, unsigned char data);*

Implementa a função que faz a escrita em um registrador do CC2500, recebendo o endereço *addr* e o dado a ser escrito, *data*. Além disso, ela retorna o *status byte* do CI.

Na camada três, podemos as seguintes macros:

- *#define cc2500_seleciona clr_P30*
- *#define cc2500_libera set_P30*
- *#define cc2500_sobe_clock set_P33*
- *#define cc2500_desce_clock clr_P33*
- *#define cc2500_bit1_si set_P31*
- *#define cc2500_bit0_si clr_P31*
- *#define cc2500_get_so P32_in*

Essas macros abstraem o *hardware* do *software*, a camada *HAL (hardware abstraction layer)*, e possibilitam que uma alteração no *layout* do barramento de comunicação precise apenas de uma rápida alteração no código.

Ainda na mesma camada, vê-se a macro:

- *#define spi_get_bit(var, buffer) { var *= 2; /*

```
(buffer == 1) ? (var += 1) : (0); }
```

A macro rotaciona para a esquerda a variável *var* e lê a entrada *buffer* do pino escolhido. Optou-se por essa definição e macro, pois ela é largamente usada no código, tornando-o menos poluído visualmente, e sendo uma implementação mais rápida que uma chamada de função que execute a mesma ação.

Como a transmissão ocorre em modo *burst*, o módulo móvel não interrompe a transmissão dos pacotes de dados independente de qual é o estado em que se encontra o módulo fixo. Já o módulo fixo aceita um novo pacote dado somente após a transmissão completa do pacote anterior ao ARM. Por isso, o excesso de dados recebidos não sobrecarrega o controlador, apenas gera descartes de pacotes. Optou-se, também, por não implementar uma fila de pacotes, para que o dado repassado ao ARM seja o mais atual possível. O protocolo de comunicação entre o ARM e do MSP430 será discutido em maiores detalhes no tópico 3.2.2.2.

3.2.2 Microcontrolador ARM Cortex-M3

O controlador apresenta dois blocos funcionais importantes, o protocolo de comunicação com o MSP430 e o protocolo de comunicação serial. O ARM recebe o dado do MSP430 e transmite estes para o computador através de uma comunicação serial.

3.2.2.1 Comunicação Serial com o Computador

O ARM realiza a transmissão dos dados recebidos do MSP430 para o computador via comunicação serial. O software desta comunicação está embarcado no ARM, utilizando os protocolos padrões para comunicação serial do STM32. Este protocolo é o formato padrão USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*). Com este formato definem-se as características da comunicação serial, que são taxa de transmissão de dados (*BaudRate*), a quantidade de *bits* por pacote (*WordLength*), os *bits* de parada (*StopBits*), a paridade (*Parity*), a existência de controle de fluxo (*HardwareFlowControl*) e o modo de transmissão (*Mode*). Abaixo está a parte do código que especifica estas características:

```
USART_InitStructure.USART_BaudRate = 9600;
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
```

`USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl=USART_HardwareFlowControl_None;`

`USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;`

A transmissão envia ao computador sequencias de 4 *bytes* de dados, estas são relativas as 3 *bytes* de dados referentes à inclinação dos eixos captados pelo acelerômetro e a um *byte* de dado (*Terminator*) para servir de limiar entre uma aquisição e sua próxima.

Para fazer a conexão física entre o ARM e o PC via serial, foi necessário utilizar um componente com dupla funcionalidade, sendo um *driver* e um receptor capaz de fornecer níveis de tensão EIA-232 através de uma fonte de 5V. Este componente é o MAX232 [26], é também converte entradas EIA-232 em níveis de 5V TTL/CMOS. Na Figura 21 esta o esquemático do MAX232.

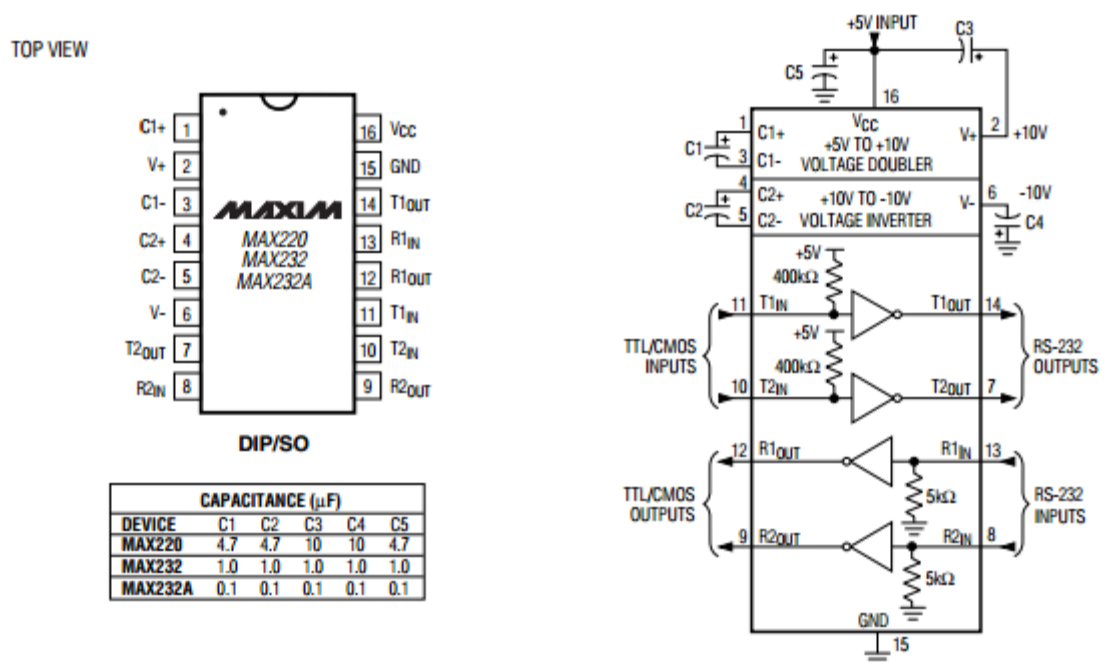


Figura 21 - Esquemático do MAX232.
Fonte: Maxim Integrated Products [26].

Como utilizamos *laptops* para realizar a aquisição de dados, necessitamos também de um conversor Serial/USB, que liga os pinos RX , TX e GND da parte serial na saída do MAX232 e o cabo USB com o *laptop*.

3.2.2.2 Protocolo Customizado – Comunicação entre MSP430 e ARM Cortex-M3

A comunicação entre o MSP430 e o ARM precisou contar com um protocolo customizado para a comunicação serial. Como o protocolo foi implementado completamente em *software*, ou seja, sem nenhum tipo de *trigger* de *hardware* para o *clock*, ele precisou se adaptar à velocidade de processamento de ambos os lados.

De antemão sabe-se que o ARM trabalha com um *clock* bem superior ao MSP430 (8MHz do primeiro contra 250KHz do segundo). Se a comunicação fosse com velocidade fixa, como acontece com a serial ao selecionar o *baud rate* do barramento, o *clock* de operação dos controladores ficaria restrito ao previamente fixado. Por isso, optou-se por uma comunicação serial de *clock* variável. Assim uma possível expansão, que exigisse uma velocidade de processamento maior de algum dos módulos poderia ser realizada de forma mais simples, sem que o protocolo sofresse alterações de código. Também se prezou pela economia de pinos.

Seguiu-se a filosofia de comunicação em *burst*,

Por isso, partiu-se das seguintes premissas para a elaboração do código:

- Economia de pinos. No máximo quatro pinos utilizados.
- Tratamento de sinais de comando, como *clock* e *chip select* feitos por *software*.
- Protocolo com velocidade variável, ceifado pela velocidade do lado mais lerdo.
- Confiabilidade e estabilidade.
- Unilateral, um lado operando como transmissor de dados e outro como receptor, apenas.

Partindo desse princípio, idealizou-se um protocolo que se utiliza dos seguintes pinos:

- *DATA READY* (DR): Um sinal informando que existem dados para serem repassados. Sinal enviado pelo MSP430.
- *DATA* (DA): Os dados propriamente ditos. Sinal enviado pelo MSP430.
- *STOP* (ST): Sinal informando o fim da transmissão. Sinal enviado pelo MSP430.
- *ACKNOWLEDGE* (ACK): Sinal informando que a leitura do *bit* já fora feita. Sinal gerado pelo ARM.

Assim, na borda de subida do sinal DR, gerado pelo MSP430, o ARM deve ler o nível do pino DA. Este, por sua vez, envia um sinal alto de ACK informando que já fez a leitura e,

então, o MSP430 desce o nível do barramento DR, informando que a leitura do DA não é válida ainda. Assim que o dado correto estiver no DA, o MSP430 sobe novamente o nível do DR e aguarda um novo ACK. Ao final do envio, *bit a bit*, o MSP430 envia um sinal alto informando que a transmissão foi concluída.

Como vantagens deste protocolo, podemos destacar que esse modelo permite que os dados não tenham tamanhos fixos de bits, podendo ser transmitidos quantos bits forem necessários, apenas cabendo aos dois lados da comunicação fazer a correta interpretação dos sinais recebidos. Além disso, como o protocolo prevê uma troca mútua de sinais de controle, para cada bit, quaisquer processadores podem utilizá-lo, independente da velocidade de operação.

Em contrapartida, como o protocolo fora inteiramente descrito em software, o desempenho da comunicação é reduzida drasticamente. Por isso, a taxa de bits/segundo da comunicação fica bem inferior aos protocolos com controles em *hardware*. Para o nosso propósito, o protocolo atende às necessidades, transmitindo em média 10 kbits/segundo com o MSP430 operando em 250KHz e o ARM em 8MHz.

O esquema lógico do barramento de comunicação é ilustrado na figura a seguir, onde os pontos notáveis estão descritos na Figura 22:

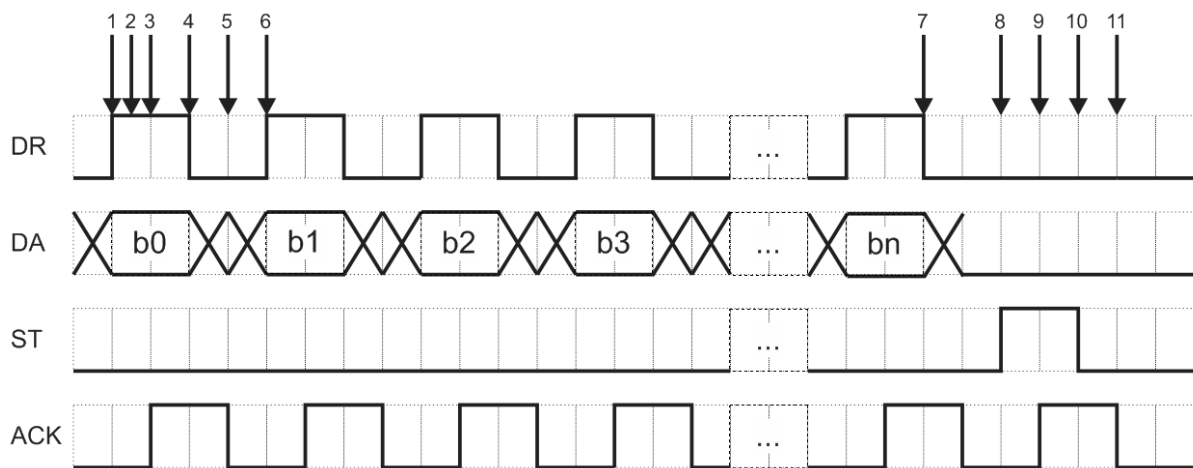


Figura 22 - Ilustração do esquema lógico da comunicação serial, com os pontos notáveis em destaque.

Fonte: Própria.

Dos pontos, pode-se destacar:

1. Início da transmissão. O MSP430 envia um nível alto ao ARM para que ele comece a ler o dado disponível no pino DA.
2. O ARM faz a leitura do nível presente no DA e armazena-o como o primeiro bit da transmissão.

3. O ARM gera o sinal de ACK para o MSP430, informando que já realizou a leitura.
4. O MSP430 reconhece o sinal de ACK e desce o nível do DA, informando que fará alterações no barramento assim que o nível do ACK descer novamente.
5. O ARM desce o nível do ACK, liberando o MSP430 para realizar alterações no nível do DA.
6. O MSP430 sobe o nível do DR, informando que um novo bit está pronto para ser lido no DA. Os passos 2 ao 6 então são repetidos até o último bit ser transmitido.
7. O último bit da comunicação é transmitido.
8. O MSP430 sobe o nível do pino ST, informando que não existem mais bits a serem transmitidos.
9. O nível do ACK é elevado pelo ARM para informar ao MSP430 que ele aceitou o fim da transmissão.
10. O MSP430 desce o nível do pino ST esperando que o ARM libere o barramento para uma nova comunicação.
11. O ARM desce o nível do pino ACK informando que já está pronto para um novo recebimento.

Quando uma nova transmissão deve ser feita, os passos 1 ao 11 são repetidos para uma nova transmissão.

3.2.3 Montagem Final

A Figura 23 mostra como ficou o módulo final:

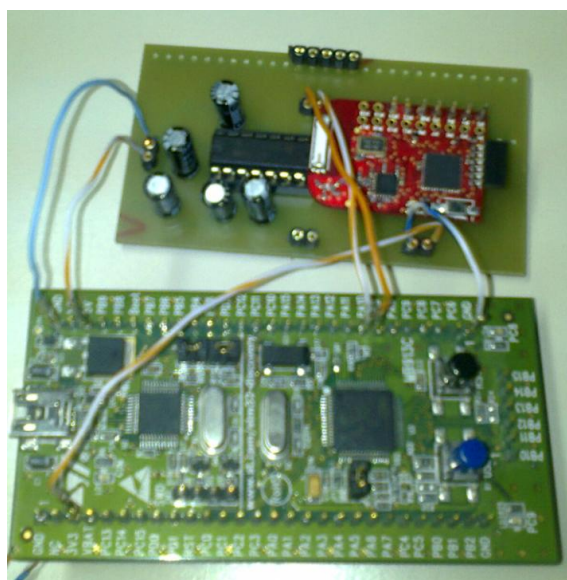


Figura 23 - Montagem final da parte interna do módulo fixo.
Fonte: Própria.

3.2.4 Considerações

O desenvolvimento do módulo fixo foi um pouco mais simples que o móvel, porém algumas partes precisaram de uma atenção maior, principalmente na utilização da API que implementa a comunicação serial, tendo em vista que não foi desenvolvida pela equipe. Mesmo assim, a programação não foi onerosa.

A parte do protocolo customizado também demandou um esforço maior que o esperado, pois a confiabilidade deveria ser total. Mesmo assim, ambos os itens cumpriram com o propósito de forma satisfatória,

3.3 PROGRAMA COMPUTACIONAL (*SOFTWARE*)

As principais características do *software* são de possuir uma interface simples e autoexplicativa, onde ao mesmo tempo disponibiliza todas as funcionalidades necessárias requeridas para o melhor aproveitamento do produto.

A seguir serão explicadas todas as possíveis ações realizadas neste programa e para que serve cada uma delas.

3.3.1 Plataforma

A plataforma de programação utilizada foi o *Guide* do Matlab. Esta escolha foi feita pela facilidade de trabalhar os dados com gráficos e de simular em 3D os movimentos captados.

Porém, como é uma plataforma de linguagem interpretada, o que torna necessário que seja compilado o código a cada utilização, foi averiguado com antecedência a possibilidade de gerar um arquivo executável, o que era de fundamental importância para cumprir o proposto inicialmente.

3.3.2 Funcionalidades

As principais funcionalidades do *software* são:

- **Recebe os dados transmitidos do módulo móvel.** Estes dados são transferidos via wireless para o módulo fixo, que retransmite por meio de comunicação serial os dados até o computador onde são sincronizados com o programa.

- **Simula o movimento do módulo móvel em tempo real.** Esta simulação é feita através de uma imagem em 3D que reproduz o corpo humano e os movimentos rotacionais que este executa durante o sono.
- **Registra os dados recebidos.** Este registro é feito salvando todos os dados de posição juntamente com os registros temporais em arquivos binários.
- **Cadastra o usuário.** Existe um campo onde é possível cadastrar o usuário, assim cada medida realizada esta vinculada a um usuário específico.
- **Gera gráficos para análise dos dados.** Dois gráficos em relação às medidas e seus respectivos tempos de aquisição são gerados. Um destes mostra a posição em que o usuário se encontra em cada momento, enquanto o outro ressalta os momentos de mudança entre as quatro principais direções que o usuário pode se encontrar. Estas posições são exemplificadas no subitem 3.3.4 e 3.3.5.
- **Abre e reproduz arquivos gravados.** Esta função permite que o usuário abra os arquivos binários gravados com as medidas referentes a períodos anteriormente adquiridos. Além disso, também permite que sejam gerados gráficos, relatórios e ainda que este período possa ser reproduzido para melhor análise.
- **Gera relatório.** Um relatório pode ser gerado com as principais características das medições efetuadas. Um campo de observações também permite que o operador do programa anote sua análise sobre os dados, a qual também será reportada no relatório.

3.3.3 Comunicação com o Módulo Fixo

Os dados provenientes das medições realizadas no módulo móvel são enviados via comunicação serial pelo módulo fixo até o computador. O procedimento transmissão do ARM até a entrada USB do computador já foi explicada no subitem 3.2.2.1.

Neste item é demonstrada sucintamente a maneira com a qual esta sincronia é realizada pelo programa. Para que a comunicação serial transmita os dados do transmissor para o receptor, é necessário que ambos sejam previamente programados com as mesmas informações sobre as taxas e características da comunicação.

A linha de código que determina estas informações esta demonstrada abaixo:

```
s2 = serial('COM8','BaudRate',9600,'DataBits',8, 'StopBit', 1, 'Terminator', 64);
```

Pode-se notar que a taxa de transmissão de dados (*BaudRate*), a quantidade de *bits* por pacote (*DataBits*) e os *bits* de parada (*StopBit*) possuem os mesmos valores que foram utilizados no *firmware* do módulo fixo. O controle de fluxo e o modo estabelecidos no ARM condizem com o padrão da comunicação que as bibliotecas do *Matlab* possuem. Já a presença de ‘*COM8*’ é relacionada à escolha da porta que a comunicação utiliza no computador. Outro dado que é estabelecido tanto no ARM quanto no *software* é o ‘*Terminator*’, que é o limitador entre uma aquisição e a próxima.

3.3.4 Simulação

A simulação gráfica serve principalmente para demonstrar os dados das medidas de um mundo mais fácil de compreender. Com a simulação de uma imagem 3D que reproduz o corpo humano, pode-se ter uma noção melhor da movimentação que o usuário está realizando ou realizou anteriormente no caso de utilizar os dados previamente gravados.

Além do corpo reproduzido, um gráfico com o ângulo da posição também é plotado, e ao lado é atualizado o nome da posição. São quatro as principais posições, sendo estas Decúbito Dorsal (deitado de barriga pra cima), Decúbito Lateral Esquerdo (deitado para o lado esquerdo), Decúbito Lateral Direito (deitado para o lado direito) e Decúbito Frontal (deitado de bruços).

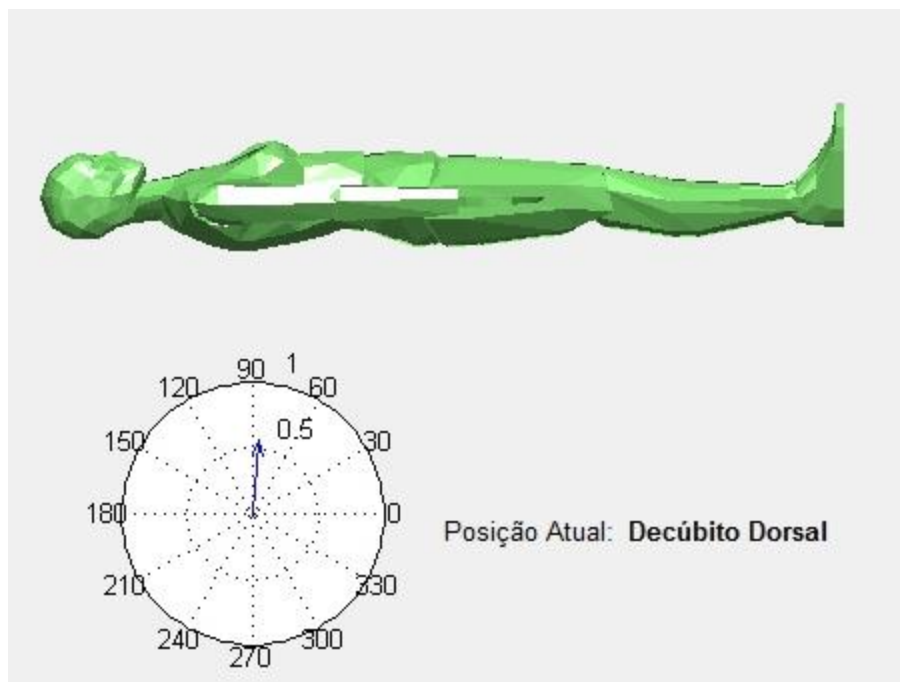


Figura 24 - Simulação 3D no software.
Fonte: Própria.

Para realizar uma simulação em tempo real, basta clicar no botão “Testar”, o que iniciará a aquisição de dados em tempo real, atualizando assim a posição atual da simulação em relação ao corpo do usuário.

3.3.5 Registro dos dados

Os dados adquiridos pelo produto podem ser registrados pelo computador que salva os dados em arquivos binários. Estes arquivos podem ser salvos de duas maneiras, sendo estas:

- Um teste é acionado através do botão “Testar”. Os arquivos são gravados em um arquivo nomeado “save_teste.bin”, sendo reescrito a cada teste realizado.
- A outra maneira é quando é acionado o botão “Play” e a caixa de seleção “salvar” esta selecionada, assim os dados são gravados em um arquivo cujo nome é formado pelo nome do paciente cadastrado e pela data de gravação (“NOME_DATA.bin”).

A gravação destes dados é essencial para possíveis análises posteriores e comparações entre várias noites de sono por exemplo.

3.3.6 Cadastro

Um painel de cadastro no programa auxilia na identificação dos pacientes que realizarão o uso do módulo RPCS, gravando os principais dados destes. Este painel e os dados colhidos estão exemplificados na Figura 25.



Paciente:	<input type="text" value="Eduardo Romani"/>	Idade:	<input type="text" value="23"/>
Telefone:	<input type="text" value="41 9090 9090"/>	Cidade/Estado:	<input type="text" value="Curitiba/PR"/>
CPF:	<input type="text" value="XXX.XXX.XXX-XX"/>	Sexo:	<input type="text" value="Masc."/>
e-mail:	<input type="text" value="eduardo_romani@hotmail.com"/>		

Figura 25 - Cadastro no software.

Fonte: Própria.

Informações adicionais podem ser escritas no campo de observação.

3.3.7 Gráficos

Dois gráficos são gerados com os dados registrados. O primeiro plota os dados de posicionamento em relação ao tempo de medida, na Figura 26 abaixo se pode observar uma amostra de medida com 53 segundos de duração, onde estão registradas todas as possíveis posições que o módulo está apto a registrar. Como o módulo tem como função registrar as posições durante o sono, estas posições registradas são todas as posições horizontais em ângulos de 0 a 360 graus e também um registro de que a pessoa levantou (parte em vermelho do gráfico).

O segundo gráfico mostra as variações entre as posições primárias, onde, quando o indivíduo passa, por exemplo, da posição dorsal para uma das posições laterais, é mostrada uma variação no gráfico.

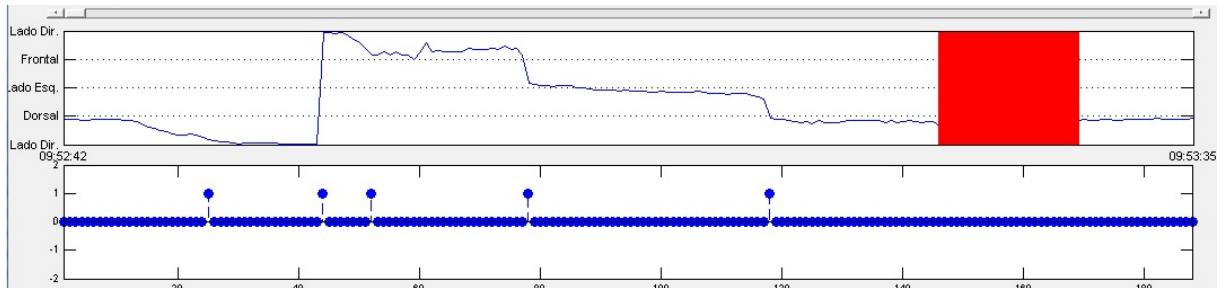


Figura 26 - Gráficos do Software.
Fonte: Própria.

Estes gráficos trazem algumas importantes relações que servem para diagnosticar e tratar certos distúrbios, podendo citar alguns exemplos:

- No tratamento da apneia e do ronco quando em estágios menos graves, uma das soluções sugeridas é que o indivíduo durma na posição lateral, o que pode ser destacado pelo primeiro gráfico e observado se houver um maior período do sono durante as posições laterais do que nas posições dorsal e frontal.
- Outro auxílio é no diagnóstico e tratamento de sonambulismo, o que pode ser percebido caso o paciente não se lembre de ter levantado durante o sono e possuir períodos registrados com posições verticais, também mostradas no gráfico superior.
- Um caso que é demonstrado em ambos os gráficos é a grande variação movimentação durante o sono, que é sintoma de várias distúrbios.
- Outro fator é a análise de uma possível inquietação repetida sempre no mesmo horário durante várias noites, o que pode demonstrar algum fator externo que afeta

o indivíduo em seu domicílio, como por exemplo algum barulho externo como caminhões de coleta que passam na rua nos mesmo horários todos os dias.

Além disto, é possível dar zoom em algumas partes dos gráficos para uma avaliação mais precisa.

3.3.8 Reprodução

O programa realiza a simulação em tempo real e também uma reprodução dos arquivos gravados. Esta reprodução é feita através do botão “Play”, onde são demonstrados os movimentos de algum arquivo gravado.

Para auxiliar nesta demonstração, o tempo original da gravação é mostrado ao lado do botão “Play”, e uma barra horizontal mostra o progresso desta reprodução através de um marcador, como mostrado na Figura 27.

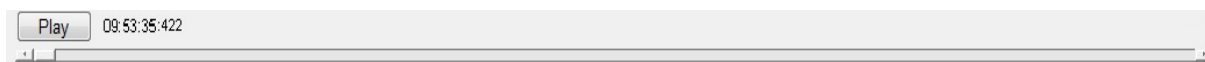


Figura 27 - Slider de reprodução do Software.
Fonte: Própria.

3.3.9 Relatório

Um relatório pode ser gerado pelo software, este apresenta as características principais das medidas realizadas, podendo ser gerado logo após serem realizadas as medidas, ou sobre um arquivo gravado previamente.

Este relatório também apresenta os dados de cadastro e ainda as observações feitas pelo operador do *software* no campo de observações.

Para gerar o gráfico, o botão “Gerar Gráficos” deve ser clicado. Este pode ser visto na Figura 28 que também apresenta o campo de observações.

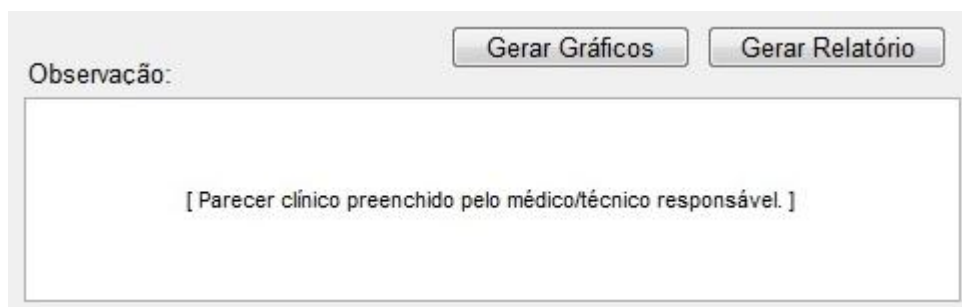


Figura 28 - Campo de Observações do Software.
Fonte: Própria.

3.3.10 Resultado Final

A Figura 29 mostra a janela do programa e as disposições de cada componente deste.

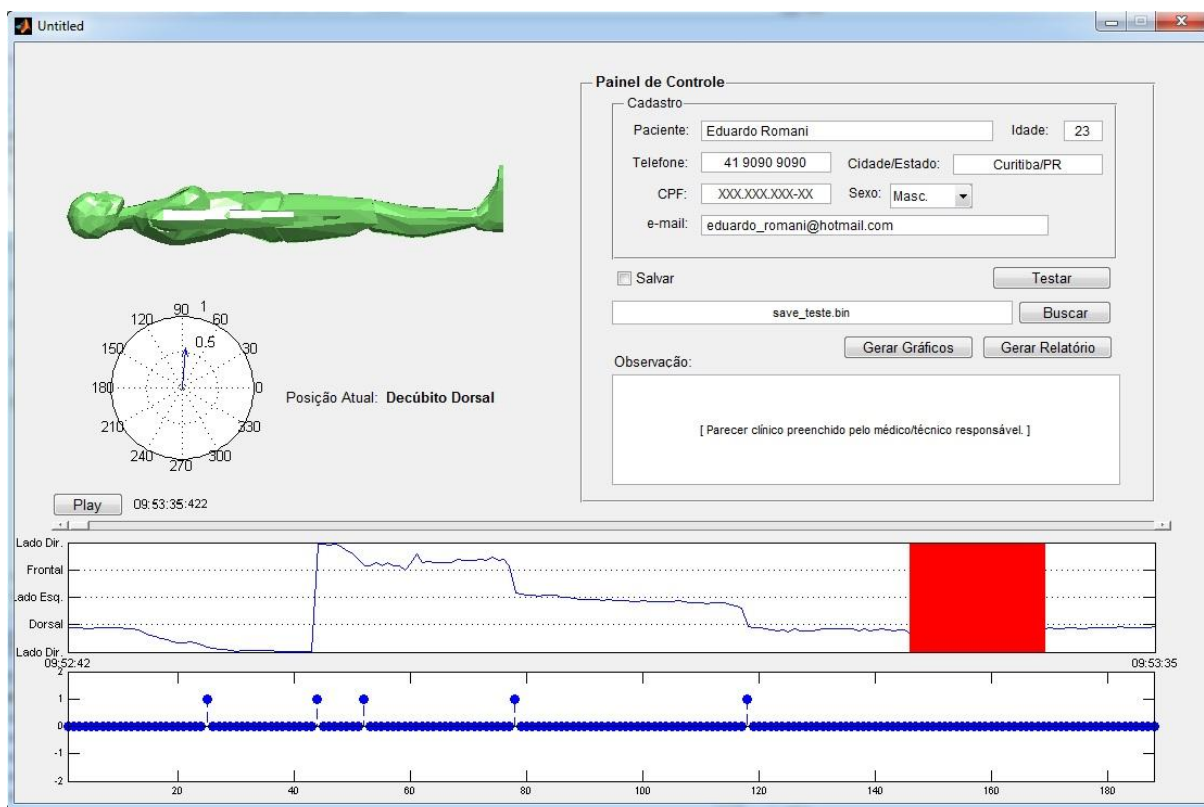


Figura 29 - Resultado Final do Software.
Fonte: Própria.

A disposição dos elementos foi estruturada intuitivamente para facilitar a utilização do programa pelo usuário. Algumas modificações podem ser feitas futuramente caso seja feita uma pesquisa de especificações com o cliente.

3.3.11 Considerações

O software busca explorar ao máximo as funcionalidades do módulo RPCS e ao mesmo tempo ser simples o suficiente para que o usuário possa realizar qualquer ação nele disponível sem maiores dificuldades.

Partindo desta análise, pode-se dizer que o programa está de acordo com o proposto, e com pequenas alterações poderia ser utilizado em um produto comercial.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Para melhor demonstrar os resultados obtidos, estes serão separados em 5 grupos, sendo 4 destes grupos iguais aos grupos propostos e mais um grupo de testes realizados com o protótipo. Entre os grupos propostos estão os resultados tecnológicos, científicos, econômicos e sociais.

4.1 RESULTADOS TECNOLÓGICOS

Os subtópicos divididos são os mesmos propostos com a análise de suas reais disposições finais e um marcador que indica se o resultado esperado foi o encontrado (✓) ou se a etapa não foi cumprida (X). Estes são:

- ✓ **Um projeto documentado:** realizado através deste relatório para TCC.
- ✓ **Um protótipo do produto completamente funcional:** O protótipo funciona e realiza basicamente todas suas especificações sem erros ou maiores problemas.
- ✓ **Um módulo móvel com um transdutor que capta a posição do paciente na cama e transmite por comunicação sem fio os dados para um módulo fixo:** pode-se observar uma foto do protótipo final na Figura 19 - Versão final do segundo protótipo. Figura 19, este realiza basicamente todas as etapas propostas, possuindo dimensões relativamente pequenas e transmitindo os dados necessários para o funcionamento do produto. O que poderia vir a complementar este módulo é uma embalagem plástica, que foi projetada, porém não fabricada devido ao alto custo necessário para isto.
- ✓ **Um módulo fixo, que recebe os dados do módulo móvel, armazena-os e realiza a comunicação destes com um software em um computador:** o módulo fixo intercala a comunicação entre o módulo móvel e o computador, servindo de base transmissora. A única parte faltante neste módulo é uma unidade de memória para armazenar as informações nele, tornando-o independente do computador, porém esta é uma etapa para futuras alterações e melhorias no projeto.
- ✓ **Um software de comunicação, tratamento de dados, geração de log dos dados e com uma interface para o usuário:** o *software*, além de realizar as especificações propostas, também gera uma simulação 3D, faz o cadastro do paciente e ainda gera relatórios sobre estes. A Figura 29 mostra a janela do programa.

- ☒ **Um depósito de patente:** única etapa que não foi cumprida no projeto, sendo que esta pretende ser realizada futuramente.

4.2 RESULTADOS CIENTÍFICOS

A parte dos resultados científicos se baseia principalmente no estudo das tecnologias para utilização no módulo RPCS. Esta etapa foi profundamente trabalhada, gerando estudos detalhados de cada etapa. Seguindo o modelo do item anterior, temos:

- ☒ **Um estudo sobre microcontroladores disponíveis:** muitos microcontroladores foram analisados, e esta análise está detalhada no subitem 2.1, que traz as principais características de vários tipos de microcontroladores.
- ☒ **Um estudo sobre transmissores sem fio disponíveis:** no subitem 2.2 são estudados alguns transmissores sem fio.
- ☒ **Um estudo sobre redução de tamanho e consumo de módulos sem fio:** um estudo de redução de tamanho foi feito e mostrou uma redução de 41.1% do primeiro protótipo (60x30x30 mm) para o segundo protótipo (53x30x20 mm) do módulo móvel, e ainda uma análise que demonstra que se pode ainda construir um módulo muito menor, com proporções de (20x20x10 mm).

4.3 RESULTADOS ECONÔMICOS

Abaixo é feita a análise dos resultados econômicos no mesmo padrão dos demais.

- ☒ **Um protótipo comercial.** O protótipo está relativamente pronto para se tornar comercial, onde as partes que faltam são as averiguações de erros, embalagens e correspondências com as normas de saúde.
- ☒ **Um equipamento que agrega a processos de diagnósticos como em um exame de polissonografia, acarretando em um acréscimo de no máximo 5% do custo total dos equipamentos necessários para este exame.** O equipamento cumpriu o esperado, obtendo como preço total um valor relativamente baixo ao de equipamentos que se inserem em exames que tratam do sono, além do mais, o preço pode ser reduzido bastante no caso do produto ser produzido em uma escala maior.

4.4 RESULTADOS SOCIAIS

Segue uma análise dos resultados sociais atingidos, seguindo o mesmo modelo dos demais itens.

- Um equipamento capaz de auxiliar no aumento da abrangência da medicina do sono na população.** O equipamento possui a capacidade de auxiliar na abrangência da medicina do sono, pois visa tornar domiciliares alguns diagnósticos e tratamentos, porém existe a necessidade deste entrar no mercado e se ajustar ao uso e até a outros modelos de medidas para assim efetivar seu objetivo.

4.5 TESTES

Esta etapa é diferenciada dos modelos anteriores, visto que são resultados que demonstram as reais funcionalidades e eficácia do módulo RPCS através de testes. Vários destes testes foram realizados no decorrer do desenvolvimento do módulo, sendo alguns destes:

- **Teste da taxa de captação e envio dos dados do acelerômetro:** o acelerômetro foi setado para enviar 16 amostras por segundo, esta taxa de transmissão que foi averiguado com auxílio de um osciloscópio.
- **Teste da taxa de transmissão total entre o módulo móvel e módulo fixo:** esta taxa é de 8 amostras por segundo, pois é transmitida por dois protocolos de comunicação, um deles é a comunicação sem fio, e o outro é o protocolo customizado entre o MSP430 e o ARM. Esta taxa é averiguada no ARM.
- **Teste da taxa de recepção de dados pelo computador:** o computador recebe 4 amostras por segundo, essa diferença para o módulo fixo ocorre pois as amostras são filtradas ainda pelo ARM, passando apenas o número de informações necessárias para o *software*.
- **Teste para averiguar se as medidas de posição:** este teste pode é feito já pelo software, onde as posições são demonstradas tanto pela simulação 3D, quanto pelos gráficos, como podemos observar no gráfico abaixo, onde todas as posições foram testadas e validadas.

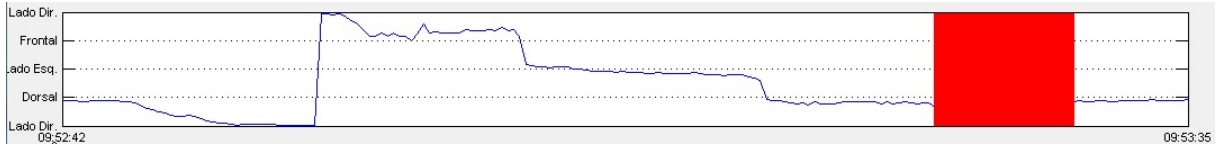


Figura 30 - Gráfico de destes de posicionamento.

Fonte: Própria.

- **Teste para buscar e corrigir erros no *software*:** este teste foi continuamente realizado durante o desenvolvimento do *software*, onde, sempre que achava um erro, este era imediatamente corrigido para tornar o programa o mais confiável possível.

4.6 Considerações

Os resultados mostram a eficácia do módulo RPCS em diversos aspectos e comprova que sua ambição inicial de realizar as tarefas propostas e da montagem de um protótipo para isto foi concluída. Como futuras ações pode-se citar a tentativa de tornar este um produto comercial, e de com as devidas melhorias integrá-lo as tecnologias médicas atuais visando um benefício à saúde da população e possivelmente rentável financeiramente.

5.2 CUSTOS

Os custos do projeto serão detalhados a seguir. Para os valores em dólar, utilizaremos um valor de câmbio de R\$ 1,65, que é o valor médio do dólar na data de aquisição dos módulos que vieram de fora do país.

Os custos apresentados serão divididos em três categorias:

- Custos reais, que foram os valores dos componentes utilizados pelo projeto.
- Custos de apoio, que são os valores gastos na compra de equipamentos de suporte ao desenvolvimento, porém estão disponíveis para outros usos e não oneram o valor unitário de produção do equipamento.
- Gastos ineficazes, que engloba os custos de componentes e equipamentos adquiridos e que não tiveram utilidade nem no desenvolvimento e nem na montagem do produto. A justificativa é seguinte ao detalhamento dos mesmos.

5.2.1 Custos Reais

Os custos reais para o módulo móvel e fixo se baseiam na compra de kits e componentes para desenvolvimento. Teve-se bastante dificuldade para encontrar kits de desenvolvimento nacionais e os kits importados, se vendidos por representantes nacionais, apresentavam um preço muito superior ao valor de venda direta com o fabricante, mesmo que se tenha que pagar a entrega e os impostos de importação.

O Quadro 8 faz um detalhamento dos gastos:

Item (Fornecedor)	Custo (US\$)	Qty	Módulo móvel			Custo (R\$)	Importação (%)	Custo Final (R\$)
			Entrega (US\$)	Câmbio (R\$/US\$)				
Kit eZ430-RF2500 (Texas Instruments)	49,00	1	0,00	1,65	80,85	0	80,85	
Acelerômetro MMA7660FC (Freescale)	35,00	2	70,00	1,65	231,00	60	369,60	
Placa de Circuito Impresso (UTFPR)	-	1	-	-	25,00	-	25,00	
Pilha AAA	-	2	-	-	4,80	-	4,80	
Pilha de Relógio	-	1	-	-	2,00	-	2,00	
Total (R\$):								482,25

Módulo Fixo							
Item (Fornecedor)	Custo (US\$)	Qty	Entrega (US\$)	Câmbio (R\$/US\$)	Custo (R\$)	Importação (%)	Custo Final (R\$)
Kit STM32VLDISCOVERY	9,90	2	25,00	1,65	73,92	60	118,27
Placa de Circuito Impresso (UTFPR)	-	1	-	-	25,00	-	25,00
Conversos USB-SERIAL	-	1	-	-	30,00	-	30,00
Cabo Serial	-	1	-	-	12,00	-	12,00
Caixa de plástico	-	1	-	-	8,00	-	8,00
Total (R\$):							193,27
Total Global:							675,52

Quadro 8- Custos para a compra de componentes e kits para confecção dos módulos.

Fonte: Própria.

Então se vê um total de gastos no valor de **R\$675,52** na aquisição de kits e componentes para desenvolvimento.

5.2.2 Custos de Apoio

Os custos de apoio são gastos no suporte ao desenvolvimento, como equipamentos e componentes (como resistores e capacitores). Estão descritos no Quadro 9.

Item	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Final (R\$)
Multímetro	30,00	1	30,00
Protoboard	24,00	2	48,00
Cabos Banana-Jacaré	7,00	3	21,00
Pilhas AAA	4,80	3	14,40
Pilha de Relógio	2,00	2	4,00
Placa Padrão Furada para Prototipagem	15,00	1	15,00
Conectores/Soquetes	1,50	6	9,00
Cabo flat (metro)	1,00	2	2,00
Cabo de rede (metro)	1,00	2	2,00
Resistores (Diversos)	0,04	50	2,00
Leds	0,30	5	1,50
Capacitores	0,15	10	1,50
Solda	10,00	1	10,00
Riscador de PCB	9,90	1	9,90
HUB USB	15,00	1	15,00
Total:			185,30

Quadro 9 - Tabela com gastos para aquisição de itens de apoio ao desenvolvimento.

Fonte: Própria.

Percebe-se um custo total para suporte ao desenvolvimento de **R\$170,30**, que engloba equipamentos, cabos, componentes e ferramentas excedentes usados para suporte ao desenvolvimento.

5.2.3 Gastos Ineficazes

Os gastos ineficazes foram as aquisições feitas e que foram abandonadas. O Quadro 10 detalha esses custos e, logo em seguida, cada custo extra é detalhado.

Item (Fornecedor)	Custo (US\$)	Qty	Entrega (US\$)	Câmbio (R\$/US\$)	Custo (R\$)	Importação (%)	Custo Final (R\$)
1 Acelerômetro MMA8450L (Freescale)	9,90	5	35,00	1,65	139,43	60	223,08
2 Acelerômetro MMA8453Q (Freescale)	6,90	3	35,00	1,65	91,91	60	147,05
3 Doze placas QFN/DIP para acelerômetros (Circuitel)	-	1	-	-	180,00	-	180,00
4 PCB para Módulo Móvel e Fixo	-	2	-	-	50,00	-	100,00
5 Pasta de Solda	-	1	-	-	50,00	-	50,00
Total (R\$):							700,13

Quadro 10 - Gastos ineficazes do projeto.

Fonte: Própria.

Vê-se um gasto ineficaz no valor de **R\$700,13**, referente às aquisições mal sucedidas. Foi um gasto bastante elevado, levando em consideração o custo total do projeto.

Os itens 1 e 2 são acelerômetros comprados para o desenvolvimento do módulo móvel. O encapsulamento dos acelerômetros é o 16-QFN com *pads* de 0,5mm cada. A solução encontrada para a utilização destes componentes foi à elaboração de uma placa que fizesse a adaptação do encapsulamento QFN para a pinagem DIP (item 4). Como a solda de estanho convencional, vendida em rolo, não é suficiente para fazer esse tipo de soldagem, adquiriu-se, também, uma pasta de solda (item 5).

A solda foi feita aplicando a pasta à placa QFN/DIP e inserindo-a a um forno convencional com temperatura aproximada de 180° nominal (fogo baixo). As placas que foram submetidas a esse procedimento não ficaram bem soldadas e foram descartadas. Nenhuma das placas e nenhum dos acelerômetros pôde ser reaproveitados.

O item 4, referente aos PCB para montagem do segundo protótipo, apresentaram erros na logica de projeto do roteamento das trilhas e também tiveram que ser descartados.

5.2.4 Considerações

O custo total do desenvolvimento ficou em **R\$ 1560,94**, sendo que 44,9% dos gastos foram ineficientes, ou seja, **R\$ 700,12**. Os gastos eficientes representaram 55,1% do total, ou seja, **R\$ 860,82**.

Os gastos com erros foram bastante significativos em relação aos gastos totais, pois se encontrou alguma dificuldade para encontrar componentes de fácil prototipagem (como é o caso dos componentes de encapsulamento DIP). Os encapsulamentos QFN se mostraram um grande desafio para o desenvolvimento que não conte com máquinas e equipamentos de tecnologia avançada à disposição.

Comparando os gastos previstos na proposta, de **R\$ 1100**, com os gastos eficazes do desenvolvimento, vemos que existiu uma economia de **R\$ 239,18** com o desenvolvimento. Se comparados com os gastos totais, o orçamento extrapolou em **R\$ 460,90** a previsão inicial.

5.3 RISCOS

Dos riscos previstos pela proposta, três deles afetaram diretamente o desenvolvimento, além de um risco não previsto. O Quadro 11 mostra os riscos previstos e um resumo das ações tomadas. Em seguida, a explicação detalhada do fato e a explicação do evento não mapeado como risco que também afetou o desenvolvimento.

Classificação do risco	Descrição	Ocorrência	Ação tomada
Alto	1. Problemas no PCB	Sim, duas vezes.	Elaboração de um novo PCB
Alto	Detecção de inviabilidade do projeto	Não	-
Médio	Redução de verba disponível	Não	-
Médio	2. Atraso no desenvolvimento	Sim	Aumento do tempo destinado ao desenvolvimento
Médio	Inexistência/Indisponibilidade de tecnologia	Não	-
Médio	3. Queima de componente/equipamento	Sim, duas vezes.	Substituição dos equipamentos danificados
Médio	Atraso no processo de compra	Não	-
Baixo	Desistência de um membro	Não	-
Baixo	Aumento do dólar	Não	-

Quadro 11- Tabela de Riscos.

Fonte: Própria.

O primeiro item aconteceu duas vezes durante a montagem do segundo protótipo. Alguns erros na lógica do roteamento dos PCBs estagnaram o desenvolvimento por cerca de quinze dias. A ação tomada foi a confecção de um novo PCB para ambos os casos.

O segundo item, atraso no desenvolvimento, na verdade se resume ao atraso no início do desenvolvimento. O calendário acadêmico acabou por retardar o início. Porém o tempo usado para o desenvolvimento ficou abaixo do previsto.

O terceiro item se refere a uma queima em dois computadores utilizados pela equipe para o desenvolvimento. Ambos tiveram os HDs queimados e tiveram que ser substituídos, perdendo assim uma parcela do desenvolvimento. A primeira ocorrência se deu no início do desenvolvimento, onde o impacto não fora tão grande. Já a segunda se deu durante a metade desse desenvolvimento e afetou mais o calendário. Para evitar uma nova ocorrência, optou-se pela utilização de um serviço de armazenamento em nuvem para *backup* do trabalho.

Já um quarto item não fora previsto na elaboração da proposta inicial. Os componentes escolhidos para o desenvolvimento, no caso os acelerômetros de encapsulamento QFN, se mostraram inviáveis tecnicamente para a utilização. Esse foi um risco não mapeado, que acabou gerando algum atraso no processo de desenvolvimento. A solução encontrada foi a compra de novos componentes que não apresentassem as mesmas dificuldades de utilização do primeiro.

5.3.1 Considerações

Assim, vê-se que a tabela de riscos se mostrou eficaz, conseguindo prever cinco dos seis eventos que geraram atrasos no desenvolvimento.

Além disso, conseguiu nortear as ações tomadas e prever os impactos das ocorrências desses eventos de forma muito precisa e perto da realidade. Mesmo assim, algumas atitudes poderiam ser tomadas para reduzir ainda mais a chance de ocorrência desses eventos, como a adoção desde o início do desenvolvimento, do armazenamento em nuvem para *backup* do trabalho ou uma busca maior por informações sobre as dificuldades de utilização de componentes de encapsulamento QFN.

6 PLANO DE NEGÓCIOS

6.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O negócio está inserido no mercado da saúde na indústria de equipamentos médicos. Este tem como objetivo se tornar referência no mercado, sendo reconhecido por produtos de alta qualidade e tecnologia de ponta para realizar diagnósticos e tratamentos eficazes.

O produto que propiciará a entrada no mercado será o módulo RPCS. Este produto se baseia em dois módulos de hardware e um software, que captam a posição corporal do usuário durante o sono. A aquisição da posição é feita por um módulo móvel acoplado ao paciente que transmite via wireless os dados para um módulo fixo que faz a interface com um computador. No software é realizado o tratamento e análise dos dados através de gráficos e simulações.

O produto será inserido em um mercado em crescimento, onde realizando uma análise do mercado da saúde se observa um crescimento de 7% ao ano, segundo *Brazilian Health Devices*[27]. Já fazendo um estudo do mercado voltado para um ramo do setor da saúde que estuda o sono, temos um crescimento ainda maior, visto que este é um nicho relativamente novo e que tem alguns dos fatores que aumentam sua demanda, como, o envelhecimento da população no Brasil, a estabilidade econômica, e até mesmo um novo regulamento do código de trânsito que torna obrigatória a realização de exames de sono para aquisição e manutenção da CNH de categorias C, D e E.

Partindo deste estudo de mercado, conseguimos estipular um mercado definido para o produto e também um número estimado de vendas para os próximos anos.

Com estes fatores bem estabelecidos, define-se a finalidade do plano de negócio, que é justamente determinar a viabilidade do negócio. O resultado encontrado foi que, com o produto inicial e sua projeção para os próximos anos, o produto torna este negócio viável para a inserção da empresa no mercado e estruturação desta. Sendo que a partir do terceiro ano é necessária a implantação de alguma estratégia suplementar, como busca pelo mercado externo e desenvolvimento de novos produtos que devem ser analisadas com mais profundidade.

6.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

6.2.1 Visão:

Obter reconhecimento internacional no ramo de equipamentos médicos para as mais diversas aplicações.

6.2.2 Missão:

Fornecer equipamentos médicos de alta qualidade visando simplificar a interação entre o profissional da saúde e o paciente.

6.2.3 Valores:

- Simplicidade, objetividade e foco em resultado.
- Integridade, ética e honestidade em tudo que fazemos.
- Busca constante por conhecimento e novas tecnologias para aprimorar nossos produtos.

6.2.4 Descrição do negócio:

O negócio está inserido na indústria de equipamentos médicos, sendo o produto um equipamento voltado para o estudo do sono. Neste segmento, o produto visa facilitar a aquisição e aumentar a confiabilidade de medidas de posicionamento necessárias para realizar o diagnóstico e tratamento de alguns tipos de distúrbios do sono. A venda deste produto será realizada diretamente com o cliente através de um site, ou através de distribuidoras e representantes de equipamentos médicos.

Após o início das vendas do produto, espera-se que este ganhe espaço no mercado e se torne reconhecido como um equipamento de excelência e sinônimo de qualidade em relação a processos de estudo do sono. Este reconhecimento pode vir através do seu diferencial em relação às técnicas atuais utilizadas para a aquisição de dados similares.

A automatização do processo de aquisição de dados acerca do posicionamento corporal do usuário, aliado à dispensa de fios ligados ao produto e à facilidade de instalação e manuseio do equipamento, propiciando que o usuário utilize o equipamento em sua própria residência, são as principais características que retratam o diferencial deste produto para os seus concorrentes.

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 Objetivo Principal

Se tornar referência no setor de equipamentos médicos e hospitalares nos próximos cinco anos através da fabricação e venda de equipamentos de alta tecnologia para diagnósticos e tratamentos mais eficazes.

6.3.2 Objetivos intermediários

Para alcançar nosso objetivo temos como passos intermediários:

- Criar um produto funcional que auxilie em diagnósticos e tratamentos de distúrbios do sono (módulo RPCS) no primeiro semestre.
- Conquistar mercado com o módulo RPCS, e desenvolver novos produtos no setor de equipamentos médicos nos próximos 2 anos.
- E dentro de 5 anos, conquistar reconhecimento no mercado, consolidar a marca no mercado e se tornar referência em equipamentos médicos.

6.4 PRODUTOS E SERVIÇOS

6.4.1 Descrição do Produto e Serviços

O módulo RPCS realiza a aquisição de dados de posicionamento corporal durante o sono de forma automatizada, sem fios, com um módulo acoplado ao usuário e um módulo fixo que se comunicam via *wireless*, além de possuir um software interativo que traz ao usuário uma facilidade para analisar os dados adquiridos. Outra característica do produto é a facilidade de instalação, manuseio e deslocamento, o que possibilita que o paciente leve para sua residência, aumentando seu conforto e a confiabilidade das medidas, já que utiliza o ambiente habitual de sono do usuário.

Com estas características, o equipamento se torna um importante auxílio para a realização de diagnóstico e tratamentos de distúrbios do sono de maneira mais eficaz.

6.4.2 Análise Comparativa

Atualmente existem produtos similares para a captação do posicionamento corporal durante o sono, estes são equipamentos, ou necessitam de fios ligados ao corpo do usuário ou utilizam câmeras que captam a imagem do paciente durante o sono e necessita de posterior análise para discretizar a posição do paciente. Nestes dois casos, o módulo RPCS apresenta vantagens, como a ausência de fios, a captação automatizada e a demonstração dos resultados de maneira otimizada, para facilitar o diagnóstico, além do fato do módulo poder ser facilmente transportado, possibilitando o usuário utilizar o equipamento em sua própria casa.

Uma possível análise de imagem através de um processamento digital de imagem utilizando o sistema de câmeras pode tornar a utilização destas mais eficientes, sendo uma possível ameaça ao módulo RPCS, porém o módulo ainda apresentaria vantagens quanto à facilidade na análise dos dados, bem como pela possibilidade da utilização deste pelo próprio paciente em sua casa.

6.4.3 Tecnologia

As tecnologias utilizadas no módulo RPCS são:

- MSP430 – transmissor wireless realiza a comunicação sem fio entre o módulo móvel (junto ao usuário) e o módulo fixo;
- Acelerômetro MMA7660FC – transdutor que capta a posição do usuário;
- STM32 – microcontrolador que recebe as informações através do MSP430 e se comunica com o computador via comunicação serial;

6.4.4 Produtos e Serviços Futuros

Analisando uma tendência do mercado de equipamentos médicos com diagnósticos menos invasivos e também buscando cobrir o campo de um possível concorrente, um produto futuro seria o desenvolvimento de um algoritmo de processamento digital de imagem que capte a posição de posicionamento do usuário.

Outros possíveis produtos futuros são ECG (eletrocardiograma) portáteis e outros equipamentos que realizem diagnóstico por imagens.

6.5 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA

A análise de mercado busca informações acerca do contexto atual do mercado de equipamentos médicos, no qual está inserido o produto, mais especificamente no ramo de equipamentos médicos voltados para o estudo do sono. Este mercado está em crescimento, visto que há uma busca maior por cuidados em relação à saúde, seja pela maior estabilidade econômica do Brasil, seja envelhecimento da população.

Partindo deste contexto, o produto visa atender alguns nichos de mercados que visam melhorar a qualidade do sono da população, buscando preencher lacunas nestes de maneira economicamente viável e trazendo facilidades ao cliente.

6.5.1 Segmentação de Mercado

Como citado anteriormente, o mercado em que o produto está inserido é o de equipamentos médicos para o estudo do sono. Porém, este mercado possui diversos segmentos com características e necessidades diferentes. Partindo deste pressuposto, é feita uma análise destes segmentos de mercado e uma discretização dos potenciais clientes.

Um dos segmentos alvo do produto são as clínicas de sono. Estas clínicas utilizam diversos equipamentos para realizar diagnósticos e tratamentos de distúrbios relacionados ao sono, sendo que o módulo RPCS busca auxiliar em alguns destes casos, e pode ser utilizado em paralelo a outros equipamentos utilizados em exames como a polissonografia. Este segmento possui clínicas em todo o Brasil, sendo que o maior número delas se encontra nas capitais com grandes conglomerações de pessoas. Observando uma distribuição destas nos estados que possuem maior número de clínicas já com certo reconhecimento, temos: Paraná – 7; São Paulo – 15; Rio de Janeiro – 11; Minas Gerais – 6; Rio Grande do Sul – 5. Este número vem crescendo, observando que quase todas estas não existiam 15 anos atrás, o que mostra que é um segmento novo que vem encontrando seu espaço no mercado.

Outro segmento são os centros de estudo do sono, que buscam através de pesquisas novos diagnósticos e melhorias nos processos existentes para tratamentos mais eficazes. Estes centros podem ser tanto institutos privados como estarem vinculados a universidades ou departamentos de pesquisa do governo.

Por último, agrupam-se outros segmentos que podem vir a utilizar o produto em suas devidas áreas. Estes são as clínicas neurológicas, clínicas de ortodontia e hospitais. Todos

estes também lidam com distúrbios do sono, porém não possuem seu trabalho focado apenas nesta área. Como exemplo pode-se citar o tratamento do ronco e apneia por clínicas de ortodontia.

O Quadro 12 possui o percentual de atuação em cada segmento do mercado.

Análise de Mercado			
Clientes Potenciais	201	Total	*Potencia
Segmento A - Clínicas do Sono	70	7%	90%
Segmento B – Centros de Pesquisa do Sono	30	3%	80%
Outros - Clínicas de Ortodontia, Clínicas de Neurologia e Hospitais	900	90%	15%
Total	100	100.00	**22,2%
* Potencial: porcentagem estipulada de aceitação do mercado para o produto.			
** 22,2% é o percentual total de mercado que se espera atingir com o produto.			

Quadro 12 - Tabela com número aproximado de clientes em cada segmento.

Fonte: Própria.

6.5.2 Segmento Alvo de Mercado

O segmento alvo para iniciar a abertura do mercado será o de clínicas de sono. Esta escolha de segmento se dá devido a alguns fatores importantes que justificam sua escolha mesmo observando uma porcentagem menor na quantidade de clientes comparativamente com outros segmentos. Dentre estes fatores estão:

- O produto preenche uma lacuna comum neste segmento, sendo que este atenderá de imediato esse mercado e assim possuirá uma melhor absorção dentro deste segmento, tornando a porcentagem do segmento mais significativa;
- Partindo da absorção e comprovação das funcionalidades do equipamento neste segmento, abrem-se as portas para os outros segmentos, que como também possuem atividades relativas a alguns distúrbios do sono também poderão usufruir do produto e seus benefícios;
- Outro ponto importante é a redução nos riscos de inserir o produto em outros segmentos mais incertos, onde, um nome consolidado no segmento de clínicas de sono facilitaria esta inserção com a comprovação da eficiência e praticidade do produto, servindo como vitrine para outras áreas que também lidam com problemas relativos aos distúrbios do sono.

Além das clínicas de sono, os centros de estudo do sono também serão alvos iniciais, visto que a necessidade deste equipamento nesse segmento é similar ao caso das clínicas de sono. Além desta similaridade funcional, também aumentará o percentual do mercado que será alcançado inicialmente, mesmo não sendo um aumento tão expressivo, estes institutos e centros de pesquisa também servem como uma ponte para abranger mercados maiores.

Os próximos segmentos a serem explorados serão as clínicas de neurologia, que também tratam de distúrbios do sono e necessitam destas medidas, as clínicas de ortodontia, que podem utilizar o equipamento para traçar parâmetros em seus tratamentos do ronco e apneia, e também hospitais que possuam setores que também realizem tratamentos referentes ao sono do paciente.

6.5.2.1 Necessidades do Mercado

O mercado de equipamentos médicos necessita de constante evolução e reciclagem, buscando novas soluções, diagnósticos e tratamentos que levem a cura de enfermidades com eficiência e que reduzam custos em procedimentos. Para isto, o acompanhamento das novas tecnologias disponíveis no mercado se faz essencial no processo de inovação visando melhorar os equipamentos e técnicas desta área.

Observando mais atentamente o ramo do mercado voltado ao estudo do sono, podemos perceber a necessidade de equipamentos que facilitem a aquisição dos dados necessários para realizar os diagnósticos e tratamentos dos distúrbios referentes ao sono, e que, além disso, interfira o menos possível no próprio sono do paciente, o que é o caso de muitos fios presos ao corpo e da atual obrigatoriedade do usuário dormir na clínica para realizar os devidos testes.

Além destas necessidades funcionais, o mercado anseia por produtos economicamente viáveis, já que estes procedimentos geralmente requerem equipamentos caros, e com o acréscimo de valor em novos equipamentos o custo teria de ser repassado ao cliente final.

6.5.2.2 Tendências do Mercado

Uma tendência do mercado na área de equipamentos médicos, não sendo uma exclusividade da área de estudo do sono, é facilitar a interação tanto do médico ou técnico,

quanto do paciente com as funcionalidades do equipamento. Esta tendência se trata de humanizar os processos e facilitar a relação homem x máquina, visando melhorar a qualidade do atendimento e do trabalho prestado. Para isto, buscam-se interfaces de fácil entendimento e que possibilite ao usuário um aprendizado com o próprio equipamento.

Outra tendência, esta na área de estudo do sono, é tornar possível que a aquisição dos dados possa ser feita no ambiente habitual de sono do paciente e que os equipamentos necessários para esta aquisição interfiram o mínimo em sua utilização, como é o caso dos muitos fios que ficam presos ao corpo do usuário. Estes fatos não aumentam apenas o conforto do paciente como também melhoram a confiabilidade das medidas realizadas.

6.5.2.3 Crescimento do Mercado

O mercado de produtos para saúde está em constante expansão e é um setor da economia de grande importância em todo o mundo. Segundo *Brazilian Health Devices* [4], o faturamento mundial neste setor em 2009 foi de US\$ 289 bilhões, e tem previsão de atingir US\$ 487 bilhões até 2016, tendo um crescimento estimado de 7% ao ano. Além disso, esta área emprega mais de um milhão de pessoas e têm mais de 27 mil indústrias em todo o mundo.

Já, analisando o segmento EMHO (Equipamentos Médicos, Hospitalares e Odontológicos) da indústria da saúde, com uma previsão feita no ano de 2010 mostra que este sozinho pode chegar a um faturamento de US\$ 286 bilhões em 2013, sendo equivalente a toda a produção mundial da indústria da saúde em 2009. Através do Quadro 13 podemos observar este crescimento em todas as regiões do mundo, observando um crescimento mais significativo na Ásia.

Regiões Mundiais	2011	2012	2013	Varição 2011/2013
Américas	102,4	107,1	122,8	19,9%
Ásia/Pacífico	42,5	46,2	58,9	38,6%
Europa (Leste e Central)	10,3	11,3	14,8	43,7%
África e Oriente Médio	5,7	6	7	22,8%
Europa (Oeste)	62,3	66,7	82,5	32,4%
Total	223,2	237,2	286	28,1%

Quadro 13 - Previsão de crescimento do setor EMHO mundial por região (em US\$ bilhões).
Fonte: Adaptado de ITA [32].

Fazendo uma análise do faturamento do setor de saúde no Brasil pode-se perceber um crescimento deste muito acima da média mundial, visando que o Brasil pretende, segundo

CIMES [28], até 2020, ser o 5º país com maior faturamento neste setor no mundo, ficando atrás apenas de EUA, Japão, Alemanha e China.

Anos	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Faturamento (US\$ milhões)	1.602	1.828	2.457	3.090	3.737	3.960	3.864	4.791	5.606

Quadro 14 - Faturamento anual do setor de indústria da saúde no Brasil.

Fonte: *Brazilian Health Devices*[27].

Atualmente o Brasil ocupa a sétima posição no faturamento mundial, porém até 2009 não figurava entre os 10 primeiros, mostrando grande crescimento do faturamento no país, o que se nota também em outros países emergentes. Como demonstrado na Quadro 13, no período entre 2003 e 2011 observa-se o crescimento neste setor de mais de 250%, sendo uma área promissora para uma atividade industrial nos próximos anos.

Outro fator importante, é a busca do Brasil em reduzir o déficit da balança comercial neste setor, sendo que nos últimos anos apenas em 2011 houve um crescimento percentual maior das exportações (crescimento de 13%), do que das importações (crescimento de 11%). Para isso, o Brasil almeja exportar US\$ 1 bilhão até 2014, com um aumento de 41% em relação à exportação de 2011 (US\$ 707 milhões), segundo BHD [4]. Os Quadro 15 e Quadro 16 referem-se aos valores de importação e exportação brasileira nos últimos anos, com destaque para o nicho de Equipamentos Médico-Hospitalares que é o nicho referente ao módulo RPCS.

Exportações	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Odontologia	64.4	82.8	82.5	70.4	84.4	86.2
Laboratório	30.9	29.4	37.5	32	55.8	63.2
Radiologia	24.3	22	28.8	22.6	25.2	24
Equip. Médico - Hospitalares	40.7	59	61.5	46	47.3	71.6
Implantes	55.2	80.5	88.4	94.7	103.6	122.8
Materiais de Consumo	226.2	254.8	282.2	275.3	316.7	339.2
TOTAL	441.9	528.7	580.8	541.1	633.1	707.1

Quadro 15 - Exportações brasileiras no setor da saúde em milhões de dólares.

Fonte: *Brazilian Health Devices*[27].

Importações	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Odontologia	26.5	36.1	44.3	45.8	59.3	79.9
Laboratório	359.5	558	697.1	719.9	883.7	1035.8
Radiologia	381.2	504.8	589.5	539.2	681.4	717.8
Equip. Médico - Hospitalares	223.7	297.7	443.8	439.2	726.2	684.1
Implantes	266	344.2	418.3	452.9	550.5	628.6
Materiais de Consumo	324.9	426.9	54.3	575.6	766	919.9
TOTAL	1590.8	2167.9	2735.4	2772.8	3667.1	4066.3

Quadro 16 - Importações brasileiras no setor da saúde em milhões de dólares.

Fonte: *Brazilian Health Devices*[27].

De acordo com a Quadro 14, pode-se notar que o ramo de equipamentos médico-hospitalares apresentou um crescimento nas exportações de 78,5% entre 2006 e 2011, o que torna este um mercado atraente para novos produtos como é o caso do módulo RPCS.

Outro fator, referente à crescente demanda de produtos para análise do sono, é a **regulamentação de exame de distúrbios de sono pelo Denatran [4]** (Denatran Nacional de Trânsito) para os candidatos que forem realizar adição, renovação e mudança da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) para as categorias C (caminhão), D (ônibus) e E (carreta). Pela nova resolução, estes candidatos devem ser avaliados pela Síndrome de Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS).

Os exames relativos aos distúrbios do sono serão realizados juntamente com os demais exames de aptidão física e psicológicas, sendo que se necessário, o candidato será encaminhado para avaliação médica específica e para a realização de polissonografia.

No Brasil, mais de 8,6 milhões de condutores possuem categorias C, D e E. O que demonstra uma grande demanda no setor. Esta regulamentação esta na Resolução Nº 267 de 15 de fevereiro de 2008 do Código de Trânsito Brasileiro.

6.5.3 Análise da Indústria

A indústria de equipamentos médico-hospitalares em que o negócio esta inserido busca oferecer equipamentos que auxiliam na prevenção de doenças, que realizem diagnósticos específicos e possibilitem o tratamento e cura destas enfermidades.

Segundo a ABIMO [1], a indústria da saúde no Brasil é capaz de suprir 90% das necessidades do mercado interno e exporta para mais de 180 países, trazendo divisas e gerando mais de 100 mil empregos no país. Estes dados demonstram a importância desta

indústria no território nacional. A distribuição destas empresas no Brasil esta demonstrada na Figura 31.

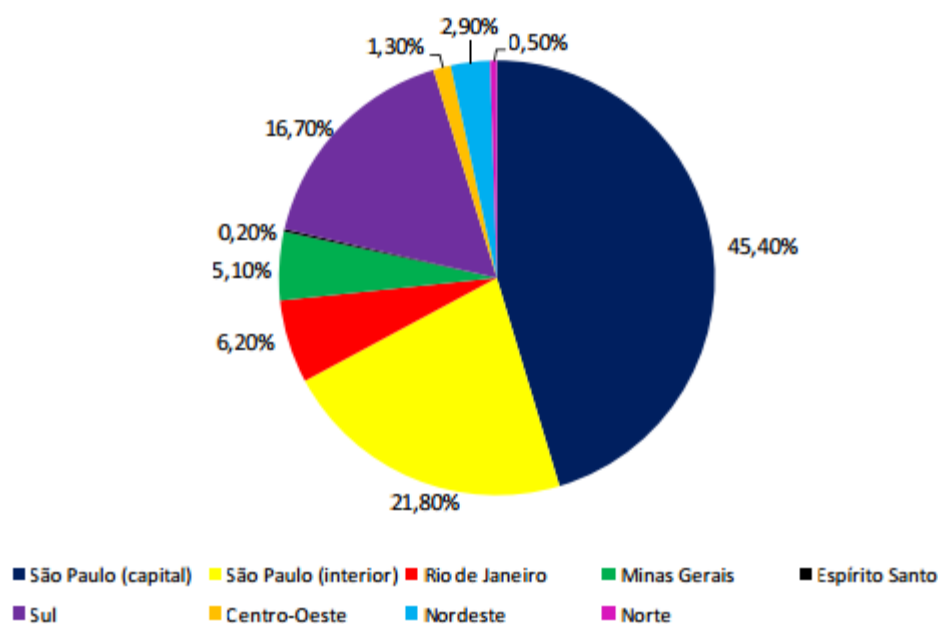


Figura 31 - Distribuição das empresas de saúde por regiões e estados.
Fonte: MORELI [28].

As tendências desta indústria são fornecer novos diagnósticos e tratamentos, sempre aprimorando os processos existentes e buscando novas curas e meios para estas. Também busca simplificar e facilitar a interação do usuário com os equipamentos, o que visa aproveitar melhor as características do equipamento e as habilidades e competências do usuário (médicos, enfermeiros e técnicos).

6.5.3.1 Players

As maiores empresas no setor de equipamentos médicos - hospitalares são estrangeiras, e a maior parte delas tem como país de origem os EUA. No Quadro 17 segue uma lista das 20 maiores empresas no setor e suas receitas em 2010.

	Companhia	País de Origem	Receita 2010 (U\$)	Segmento/atução principal
1.	Johnson & Johnson	EUA	\$24.6B	Conglomerado.
2.	GE Healthcare	EUA	\$16.9B	Conglomerado, Voltada principalmente a diagnóstico por imagem.
3.	Siemens Healthcare	Alemanha	\$16.7B	Diagnóstico, Diagnóstico por Imagem e TI.
4.	Medtronic	EUA	\$15.8B	Equipamentos, dispositivos e produtos para cirurgias cardiovasculares, Equipamentos para cirurgias

5.	Baxter International	EUA	\$12.8B	minimamente invasivas. Conglomerado.
6.	Philips Healthcare	Holanda	\$11.4B	Diagnóstico por Imagem e TI, Produtos para cuidados clínicos, Soluções para "home healthcare", produtos para monitoração de pacientes.
7.	Abbott Laboratories	EUA	\$9.3B	Equipamentos e produtos para diagnóstico, Saúde animal e cuidados para diabetes.
8.	Cardinal Health	EUA	\$8.8B	Consumíveis hospitalares e material descartável para uso hospitalar, cirúrgico e clínico.
9.	Covidien	Irlanda	\$8.4B	Equipamentos e material cirúrgico e de Intervenção.
10.	Boston Scientific	EUA	\$7.8B	Equipamentos para cirurgias minimamente invasivas, Produtos de uso cardiovascular.
11.	Becton Dickinson	EUA	\$7.4B	Equipamentos e produtos para diagnóstico, Produtos para infusão.
12.	Stryker	EUA	\$7.3B	Próteses e implantes ortopédicos, Equipamentos de emergência, endoscopia e vídeo cirurgia.
13.	B. Braun	Alemanha	\$5.9B	Equipamentos e Material cirúrgico e de Intervenção,
14.	St. Jude Medical	EUA	\$5.2B	Equipamentos e produtos para utilização cardíaca e neurológica.
15.	Toshiba	Japão	\$4.6B	Diagnóstico por imagem.
16.	3M Healthcare	EUA	\$4.5B	Conglomerado.
17.	Zimmer	EUA	\$4.2B	Produtos e instrumentos ortopédicos.
18.	Danaher	EUA	\$4.1B	Equipamentos para diagnóstico e instrumentação.
19.	Smith & Nephew	Reino Unido	\$4.0B	Equipamentos e produtos de uso ortopédico e endoscópico.
20.	Hospira	EUA	\$3.9B	Equipamentos e produtos para infusão de medicamentos e cuidado intensivo.

Quadro 17 - Líderes mundiais em equipamentos médico-hospitalares receita 2010. Fonte: Baseado em Medical Product Outsourcing (2012). Fonte: Adaptado de MORELI [28].

Dentre estas empresas podemos destacar como concorrentes no ramo de equipamentos para monitoramento do sono, empresas que produzem equipamentos que realizem algum tipo de diagnóstico nesta especialidade, como, por exemplo, empresas fabricantes de EEG (eletroencefalograma). Neste caso, pode-se citar nesta lista a Siemens, a Medtronic, a Philips, a Becton Dickinson e a Hospira.

Como fornecedores para o negócio são necessários essencialmente 3 tipos de empresas, sendo estas:

- fornecedoras de eletrônicos, transdutores e microcontroladores;

Ex.: Texas Instruments, National Instruments, Freescale, Farnell, Altera.

- fornecedoras de materiais médicos para compra de acopladores anatômicos e materiais que possam ficar em contato com a pele do usuário;

Ex.: Covidien, Kollimed, Engecare, TM Mercantil, Rimed.

- e fornecedoras de embalagens;

Ex.: Milleforme, ViFran, Frila.

Além destes players, ainda existem os potenciais clientes e parceiros. O negócio não visa possuir apenas um cliente, buscando atingir certos segmentos, como citado na Quadro 13. Porém, como o produto poderá ser vendido por meio de distribuidoras, estas representam importantes players. Alguns exemplos de distribuidoras de equipamentos médicos são a BleyMed, a PolarFix, a LynsTec e a LM Hospitalar. Já como parceiros, possíveis empresas que atuam que fabriquem equipamentos voltados para o estudo do sono possam se interessar em criar uma parceria, tendo assim um diferencial dos demais polissonógrafos atuais.

6.5.3.2 Modelo de Distribuição

A distribuição de materiais médicos é feita por diversas vias. Uma delas são as vendas pela internet com o envio da compra através do correio e de transportadoras similares para equipamentos de baixa complexidade e fragilidade. Para materiais mais frágeis existem transportadoras especializadas no envio de equipamentos médicos, que também realizam a instalação destes equipamentos. Para produtos importados que desembarcam nos portos, a partir daí, o mesmo sistema é utilizado.

Outro modelo de distribuição utilizado pelos fabricantes, é a venda de seus produtos através de distribuidoras ou representantes.

Abaixo são listadas empresas que vendem seus produtos nos sites, exemplos de distribuidoras, de transportadoras e de representantes que atuam no ramo de equipamentos médicos, exemplificando o canal entre o produto e o cliente.

Empresas que realizam **vendas através da internet** (produtos comercializados por estas empresas também são utilizados no estudo do sono, como o eletroencefalograma):

- Contec Medical Systems Co, Ltd (China);
- Siemens AG (Alemanha);
- Jiangsu Jiahua Electronic Instrument Co, Ltd (China);
- Shenzhen Huge Industry Limited (Hong Kong);
- Rising Medical Equipment Co, Ltd (China);

Exemplos de **distribuidoras** de equipamentos médicos no Brasil:

- Polar Fix (fabricante e revendedora);
- LynsTec (distribuidora de eletroencefalograma);
- LM Hospitalar;

- BleyMed;

Exemplos de **transportadoras** brasileiras:

- Correios e outras transportadoras convencionais;
- RL Transmed (transportadora especializada em transporte e instalação de equipamentos médicos, incluindo equipamentos de grande porte como tomógrafos);
- VB Ferrari Transportes (especializada em transporte de equipamentos extremamente sensíveis);
- Focus Log (transporte de equipamentos sensíveis e laboratoriais);

E, alguns **representantes** de equipamentos médicos no Brasil:

- Biocientífica Com. e Manut. De Equip. Científicos (Curitiba - PR);
- Frubens Com. e Serv. (São Paulo - SP);
- Panon Assist. Técnica e Com. de Produtos Médicos (São Paulo - SP);
- SS Rangel Com. e Rep. (Rio de Janeiro - RJ);
- Procimed Hospitalar e Científica (Belo Horizonte - MG);
- Engeclinic Prod. E Serv. (Porto Alegre - RS);

6.5.3.3 Modelo de Competitividade

No mercado de equipamentos médicos as empresas se mantêm competitivas seguindo principalmente alguns fatores, entre eles:

- Busca contínua por inovações tecnológicas para aprimorar os procedimentos e equipamentos.
- Seguir e criar tendências no mercado, explorando novas áreas e buscando se aproximar das necessidades reais dos usuários.
- Fornecer serviços vinculados a seus produtos, como treinamentos e consultorias.
- Fazer parcerias tanto com empresas nacionais como multinacionais, visando tanto baratear seus produtos quanto aumentar seu alcance no mercado.
- Se manter sempre atento a oportunidades de negócios e necessidades do mercado.

6.5.3.4 Principais Players

Através de uma análise dos players do mercado, vide tópico 4.3.1, pode-se fazer uma seleção para os principais players necessários para iniciar o negócio. Estes são:

- **Fornecedores:**
 - Texas Instruments e Freescale (equipamentos eletrônicos);
 - RiMed (equipamentos médicos);
 - Milleforme (embalagens).
- **Concorrentes*:**
 - Contec Medical Systems Co, Ltd (China);
 - Siemens AG (Alemanha);
 - Jiangsu Jiahua Electronic Instrument Co, Ltd (China);
 - Shenzhen Huge Industry Limited (Hong Kong);
 - Rising Medical Equipment Co, Ltd (China).
- **Parceiros:**
 - pode-se criar parcerias com diversas empresas, buscando aumentar o alcance do produto no mercado, sendo estas tanto distribuidoras de equipamentos médicos como até alguns fabricantes citados no item concorrentes.
- **Clientes:**
 - Clínicas de sono;
 - Centros de estudo do sono;
 - Clínicas de neurologia, clínicas de ortodontia e hospitais;
 - E distribuidoras de equipamentos médicos.

* Todos os potenciais concorrentes são fabricantes de EEG (eletroencefalograma).

6.6 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR

Como já mencionado, o mercado alvo é o mercado de equipamentos médicos voltados para o estudo, diagnóstico e tratamentos do sono. Este mercado é composto por vários segmentos, como clínicas de sono, centros de pesquisa e estudo do sono, clínicas de neurologia, clínicas de ortodontia e hospitais. Dentre estes segmentos, o cliente alvo almejado inicialmente são as clínicas de sono e os centros de pesquisa.

O produto servirá como uma ferramenta auxiliar para realizar diagnósticos e tratar vários distúrbios do sono, como apneia, sonambulismo, insônia e terror noturno. Além disto, o produto terá uma interface interativa que facilita a análise dos resultados e a busca por

diagnósticos. Uma vantagem neste produto é a inexistência de fios, o que é de grande importância para não limitar os movimentos do paciente durante o sono e assim não interferir nos resultados obtidos a partir deste sono.

Outra vantagem, que busca a atenção do principal cliente alvo que são as clínicas de sono, é a possibilidade de o paciente levar o equipamento até sua residência e ser capaz de instalar e ligar o aparelho facilmente seguindo poucas instruções. Esta vantagem de locomoção traz maior conforto e comodidade ao paciente, e ainda aumenta a confiabilidade das medidas já que utiliza o ambiente habitual de sono do paciente.

Além destes fatos, focamos também no baixo preço do produto, que possui um preço de venda de R\$ 400,00 por produto e mais R\$ 400,00 por licença de software. Como não existe um concorrente direto, com um produto similar, compara-se este preço ao preço do conjunto total dos equipamentos usados em um exame de polissonografia, que gira em torno de 10 a 15 mil reais. Observando o acréscimo das funcionalidades que o produto trará para os clientes e comparando com o acréscimo de menos de 8% nos custos totais de equipamentos, constata-se que este preço será atrativo ao mercado.

6.7 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO

6.7.1 Diferenciais Competitivos e Proposta de Valor

Para lançar o produto no mercado, este necessita de alguns atrativos e diferenciais, que no caso do módulo do RPCS são:

- Preço de venda de menos de 8% do valor total dos equipamentos utilizados em exames de polissonografia;
- Transmissão sem fio dos dados de posicionamento;
- Equipamento portátil de fácil instalação e manuseio;
- Aumenta a capacidade de atendimento das clínicas, já que com um equipamento portátil o paciente não necessita utilizar um leito desta;
- Software de interface interativo com gráficos que auxiliam a análise dos dados.

Estipula-se que com estas características o produto conquiste o mercado e consolide sua marca. No Quadro 18, uma análise SWOT exemplifica melhor os pontos importantes referentes à competitividade da empresa no mercado.

Ambiente Interno	
PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> • Produto barato; • Transmissão sem fios; • Equipamento portátil; • Aumenta a capacidade de atendimento das clínicas; • Software de interface interativo; • Auxílio em diagnósticos de maneira inovadora; • Baixo consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa complexidade.

Ambiente Externo	
OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mercado em crescimento; • Regulamentação pelo DENATRAN para exames de distúrbios de sono na aquisição ou manutenção da CNH das categorias C, D e E; • Maior cuidado da saúde devido à estabilidade econômica e pelo envelhecimento da população; • Não apresenta concorrência com produto similar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado limitado; • Exportação pode ser afetada pela variação do dólar.

Quadro 18 - Análise SWOT.

Fonte: Própria.

6.7.2 Estratégia de Marketing

6.7.2.1 Estratégia de Preços

O preço de venda foi definido com base no que foi estipulado ser um valor atrativo para o mercado e que supra os custos e despesas da empresa e gere um retorno financeiro.

Este preço é de R\$ 400,00 por unidade e mais R\$ 400,00 por licença de software o que representa apenas 3% do custo total de compra de equipamentos para realizar um exame de polissonografia oferecido pelas clínicas de sono.

6.7.2.2 Estratégia de Promoção

A promoção do produto será feita com uma publicidade focada no público alvo. Inicialmente enviando panfletos com as informações e diferenciais do produto às clínicas de sono e também realizando possíveis demonstrações para estas de como o produto funciona.

Após conquistar mercado no segmento do cliente alvo, espera-se que a própria boa experiência de especialistas da área do sono com o equipamento sirva como uma próxima abordagem de marketing para abranger os outros segmentos que compõem o mercado.

6.7.2.3 Estratégia de Distribuição

Serão utilizados dois canais para realizar a distribuição, sendo estes:

- Se a venda for realizada através do site da empresa, a distribuição será por meio de transportadoras convencionais, como correios;
- Já o outro canal é a venda através de distribuidoras de equipamentos médicos, onde a logística para enviar o produto ao cliente é feita pela distribuidora.

6.7.3 Estratégia de Vendas

6.7.3.1 Forecast

Nos Quadro 19 e Quadro 20 é realizada uma projeção de venda para os próximos 5 anos, estimando tanto venda no mercado nacional que será o foco inicial do produto como uma futura exportação e venda de novos produtos, sendo que para estas é necessária uma futura análise do mercado externo e da possibilidade e viabilidade de novos produtos.

PROJEÇÃO DE VENDAS		<i>Ano0 (2013)</i>			<i>Ano1 (2014)</i>		
PRODUTOS	<u>Qtd.</u>	<u>PREÇO</u>	<u>RECEITA</u>	<u>Qtd.</u>	<u>PREÇO</u>	<u>RECEITA</u>	
1 Módulo RPCS	650	R\$ 400,00	R\$ 260.000,00	1000	R\$ 400,00	R\$ 400.000,00	
2 Licença Software	65	R\$ 400,00	R\$ 26.000,00	100	R\$ 400,00	R\$ 40.000,00	
3 Módulo RPCS Exportação		R\$ 400,00	R\$ 0,00	500	R\$ 400,00	R\$ 200.000,00	
4 Licença Software Exp.		R\$ 400,00	R\$ 0,00	50	R\$ 400,00	R\$ 20.000,00	
POSSÍVEIS NOVOS PRODUTOS							
1 Diagnóstico por Imagem		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00	
2 Diag. por Imagem Exp.		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00	
3 ECG Portátil		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00	
4 ECG Portátil Exp.		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00	
5		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00	
RECEITA TOTAL			R\$ 286.000,00	R\$ 660.000,00			

<u>Ano2 (2015)</u>			<u>Ano3 (2016)</u>			<u>Ano4 (2017)</u>		
<u>Qtd.</u>	<u>PREÇO</u>	<u>RECEITA</u>	<u>Qtd.</u>	<u>PREÇO</u>	<u>RECEITA</u>	<u>Qtd.</u>	<u>PREÇO</u>	<u>RECEITA</u>
600	R\$ 400,00	R\$ 240.000,00	200	R\$ 400,00	R\$ 80.000,00	200	R\$ 400,00	R\$ 80.000,00
60	R\$ 400,00	R\$ 24.000,00	20	R\$ 400,00	R\$ 8.000,00	20	R\$ 400,00	R\$ 8.000,00
1300	R\$ 400,00	R\$ 520.000,00	1500	R\$ 400,00	R\$ 600.000,00	700	R\$ 400,00	R\$ 280.000,00
130	R\$ 400,00	R\$ 52.000,00	150	R\$ 400,00	R\$ 60.000,00	70	R\$ 400,00	R\$ 28.000,00
00	R\$ 1.200,00	R\$ 360.000,00	500	R\$ 1.200,00	R\$ 600.000,00	500	R\$ 1.200,00	R\$ 600.000,00
0	R\$ 1.200,00	R\$ 0,00	200	R\$ 1.200,00	R\$ 240.000,00	700	R\$ 1.200,00	R\$ 840.000,00
200	R\$ 400,00	R\$ 80.000,00	300	R\$ 400,00	R\$ 120.000,00	300	R\$ 400,00	R\$ 120.000,00
0	R\$ 400,00	R\$ 0,00	100	R\$ 400,00	R\$ 40.000,00	400	R\$ 400,00	R\$ 160.000,00
	R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	R\$ 0,00
R\$ 1.276.000,00			R\$ 1.748.000,00			R\$ 2.116.000,00		

Quadro 19 - Projeção de venda dos produtos da empresa para os próximos 5 anos.

Fonte: Própria.

<u>ESTOQUE</u>	<u>Ano0</u>		<u>Ano1</u>		<u>Ano2</u>		<u>Ano3</u>		<u>Ano4</u>	
<i>PRODUTOS</i>	<u>Qtd.</u>	<u>Estoque</u>	<u>Qtd.</u>	<u>Estoque</u>	<u>Qtd.</u>	<u>Estoque</u>	<u>Qtd.</u>	<u>Estoque</u>	<u>Qtd.</u>	<u>Estoque</u>
1 Módulo RPCS	1000	350	1500	450	2000	350	1500	150	1000	250
2 Diagnóstico por Imagem							400	100	800	100
3 ECG Portátil							400	100	700	200
Total		350		450		350		350		550

Quadro 20 - Projeção do volume de estoque para os próximos 5 anos.

Fonte: Própria.

6.7.3.2 Plano de Vendas

Inicialmente, busca-se vender para as clínicas de sono, sendo enviados panfletos publicitários sobre o novo equipamento e seus benefícios para estes, e também se entra em contato diretamente com o cliente para possíveis demonstrações do equipamento.

Para conquistar uma clientela, ofereceremos amostras para uso por um determinado tempo (em torno de 15 dias), sendo que ao término deste período o cliente pode adquirir o produto ou optar por não comprá-lo.

Considerando que cada clínica possui uma demanda diferente, estima-se uma média de venda para cada clínica, sendo entre 10 a 15 equipamentos e uma licença de software. Esta quantidade se dá pelo preço de investimento baixo e pela característica do aparelho ser portátil, o que possibilita que as clínicas emprestem os equipamentos para seus pacientes usarem em casa, aumentando assim também a capacidade de atendimento da clínica.

Paralelamente será feita propaganda nos centros de estudo do sono. Após atingir certo público nas clínicas e centros de estudo, começaremos abranger os outros segmentos, que

provavelmente terá uma menor aceitação do produto, por outro lado, é um segmento representativo em quantidade.

6.7.4 Alianças Estratégicas

Algumas possíveis alianças podem ser formadas futuramente com empresas fabricantes de EEG (eletroencefalograma) que busquem oferecer todos os equipamentos disponíveis para um exame de polissonografia.

Outras parcerias podem ser feitas com distribuidoras de equipamentos médicos, abrangendo assim o mercado que estas já possuem.

6.7.5 Cronograma

Um cronograma com as principais atividades referentes à empresa é elaborado no Quadro 21, dividindo as tarefas referentes a cada um dos integrantes, com as datas previstas para realização das tarefas e os gastos previstos, sendo que estes são referentes aos custos no ano de 2013, como demonstrado nos Quadro 11 e Quadro 12.

MC&Tech	Data Início	Data Fim	Budget (R\$)	Respons	Departamento
Desenvolvimento do módulo RPCS	01/01/2012	30/07/2012	600	Ambos	Eng. de Desenv.
Fabricação de alguns módulos para demonstração	01/08/2012	01/10/2012	900	Ambos	Eng. de Desenv.
Gastos jurídicos para abrir a empresa	01/12/2012	01/12/2012	1.500	Ambos	Administração
Busca por um espaço físico para a empresa	01/12/2012	10/12/2012	0	Ambos	Administração
Aquisição dos equipamentos	01/11/2012	01/12/2012	21.000	Ambos	Eng. de Desenv.
Contratação de uma secretária e uma diarista	01/12/2012	15/12/2012	0	Ambos	Administração
Abertura oficial da Empresa	01/01/2013	01/01/2013	0	Ambos	Todos
Implementação de um projeto de marketing	01/12/2012	01/04/2013	6.000	Eduardo	Marketing
Fabricação de módulos para comércio	01/01/2013	01/12/2013	97.500	André	Eng. de Desenv.
Administração do negócio Ano 2013	01/01/2013	01/01/2014	0	Eduardo	Administração
Total			127.500		

Quadro 21 - Cronograma.
Fonte: Própria.

6.8 GESTÃO

6.8.1 Estrutura Organizacional

A empresa terá uma estrutura organizacional inicial com dois sócios fundadores que tomam as decisões da empresa e alguns empregados que respondem diretamente a estes, já que será uma microempresa.

Conforme a empresa se desenvolver serão realizados ajustes e mudanças na organização de acordo com a necessidade e anseio dos sócios.

6.8.2 Equipe

Inicialmente a equipe será formada pelos fundadores (Eduardo e André) e por uma secretária. As atividades serão divididas entre:

- Desenvolvimento e montagem dos produtos (André Felipe de Souza Okopni – Eng. Eletrônico);
- Publicidade, administração do caixa e contato com fornecedores e clientes (Eduardo Romani – Eng. Eletrônico);
- Secretariado (Secretária a ser contratada);
- Limpeza (Contratação de uma diarista para realizar limpeza uma vez por semana);

6.8.3 Quadro de Pessoal

QUADRO DE PESSOAL										
	2013		2014		2015		2016		2017	
	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)
Pessoal - Produção										
*Eng. de Desenvolvimento	1	18000	1	48000	1	60000	2	66000	2	72000
*Técnico	1	18000	1	24000	2	30000	2	30000	3	36000
Outros (Auxiliar Técnico ou Estagiário)	0	0	0	0	1	18000	2	18000	3	21000
Subtotal		36000		72000		138000		228000		315000
										continua

Pessoal - Marketing e Vendas										
*Gerente de Marketing e Vendas	1	18000	1	48000	1	60000	1	60000	1	66000
Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal		18000		48000		60000		60000		66000
Pessoal - Gerais e Administrativas										
*Administrador	1	18000	1	30000	1	36000	1	36000	1	42000
Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal		18000		30000		36000		36000		42000
Pessoal – Outros										
Secretária	1	9600	1	12000	1	14400	1	14400	1	18000
Diarista	1	3360	1	3840	1	4320	1	4320	1	5040
Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal		12960		15840		18720		18720		23040
Total Pessoas	4		6		8		10		12	
Total Folha	R\$ 84.960,00		R\$ 165.840,00		R\$ 252.720,00		R\$ 342.720,00		R\$ 446.040,00	
Benefícios e Obrigações	R\$ 9.641,60		R\$ 18.657,07		R\$ 28.339,20		R\$ 38.339,20		R\$ 49.862,40	
Total Gastos com Folha	R\$ 94.601,60		R\$ 184.497,07		R\$ 281.059,20		R\$ 381.059,20		R\$ 495.902,40	

Quadro 22 - Quadro de pessoal.
Fonte: Própria.

6.9 PLANO FINANCEIRO

6.9.1 Considerações

O plano financeiro é uma excelente maneira de estipular a saúde financeira da empresa dentro de certo período, e através deste definirmos a viabilidade do negócio.

Neste caso, traçamos uma análise para os próximos 5 anos, onde, para que o plano se aproxime ao máximo da realidade, os valores utilizados são referentes ao estudo do mercado com estatísticas e dados de fontes reconhecidas no mercado, e os valores de gastos e remunerações são referentes a valores pagos por empresas similares com os devidos reajustes inflacionários para os próximos anos.

6.9.2 Indicadores Financeiros

A empresa possui vários indicadores financeiros importantes, como o volume de vendas no mercado nacional e no internacional, seus custos e despesas, e o lucro líquido de suas vendas.

Observando estes, podemos perceber que as vendas crescem em 7 vezes no primeiros 5 anos (vide tópico 6.3.1 Forecast), porém após os dois primeiros anos esta depende bastante da exportação e implantação de novos produtos, que necessitam ser estudados mais a fundo para fundamentar sua viabilidade.

Os custos crescem em 5 vezes neste período, porém, isto se dá devido ao crescimento da empresa em geral.

6.9.3 Análise do *Break-even*

O break-even ocorre a partir do terceiro ano e meio de início da empresa. Fazendo uma análise deste período que parece extenso, podemos observar alguns pontos importantes que justificam esta duração e que expõem uma empresa com maiores pretensões no mercado. Estes fatores são:

- Os sócios recebem salários dignos dentro da empresa durante todo o período, e no mesmo ano em que ocorre o break-even já conseguem retirar dividendos expressivos sem afetar a saúde da empresa;
- A empresa aumenta em 7 vezes o volume das vendas em 5 anos;
- Neste período são contratados novos funcionários e se reinveste em equipamentos e tecnologia;

6.9.4 Investimento Inicial

O investimento inicial é de 250 mil reais. Este valor provém de fontes como parentes de ambos os sócios (Eduardo e André) com juros de apenas 5% ao ano.

Os gastos iniciais tanto de escritório, quanto jurídico e de investimento em tecnologia e marketing estão discretizados nas tabelas do item seguinte (6.9.5).

6.9.5 Projeção do Resultado e de Fluxo de Caixa

Os Quadro 23 e Quadro 24 demonstram as projeções de fluxo de caixa e resultado para os próximos 5 anos, sendo que o primeiro é analisado dividido em trimestres.

MC&Tech		Previsão				
		1				
FLUXO DE CAIXA PROJETADO		Ano1				
		1º Trimestre	2º Tri.	3º Tri.	4º Tri.	TOTAL
RECEITA BRUTA						
	Vendas de Produtos	-	57.200	85.800	143.000	286.000
	Vendas de Serviços	-	-	-	-	-
TOTAL DE RECEITA BRUTA		-	57.200	85.800	143.000	286.000
	% dos Impostos sobre Vendas	18%				
IMPOSTOS SOBRE VENDAS		-	10.296	15.444	25.740	51.480
RECEITA LÍQUIDA		-	46.904	70.356	117.260	234.520
CUSTO DOS PRODUTOS VENDIDOS						
	Mão de Obra Direta	-	-	-	-	-
	Matéria Prime e Materiais Diretos	30.000	19.500	29.250	48.750	127.500
	Despesas Indiretas	-	2.000	2.000	4.000	8.000
MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO		(30.000)	25.404	39.106	64.510	99.020
	% da Receita Líquida	#DIV/0!	54%	56%	55%	42%
DESPESAS DE VENDAS						
	Fixas	-	500	500	1.000	2.000
	% sobre Receitas Brutas	3%				
DESPESAS DE VENDAS		-	2.216	3.074	5.290	10.580
DESPESAS FIXAS						
	Pessoal + Encargos + Benefícios	23.650	23.650	23.650	23.650	94.602
	Retiradas e Pró-labore	-	-	-	-	-
	Aluguéis+ Impostos+ Condomínios	900	900	900	900	3.600
	Administração	-	-	-	-	-
	Depreciação / Amortização	-	1.716	2.574	4.290	8.580
	Contas: água, luz, telefone, etc.	1.915	1.915	1.915	1.915	7.660
DESPESAS FIXAS		24.550	26.266	27.124	28.840	106.782
LUCRO						
	Lucro Operacional	(54.550)	(3.078)	8.908	30.380	(18.342)
	Imposto de Renda	10%				
LUCRO LÍQUIDO APÓS IR		(54.550)	(3.078)	8.908	30.380	(18.342)
	% da Receita Líquida	#DIV/0!	-7%	13%	26%	-8%
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO						
	Contas a Receber no final do período	-	5.720	8.580	14.300	28.600
	Estoques no final do período	60.000	60.000	20.000	-	140.000
	Contas a Pagar no final do período	-	-	-	-	-
	Impostos a Pagar no final do período	-	-	-	-	-
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO		(60.000)	(65.720)	(28.580)	(14.300)	(168.600)
	Depreciação no período	+	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL		-114.550	-68.798	-19.672	16.080	-186.942
Investimentos em Ativo Fixo						

Adições aos Ativos Fixos	-	-	-	-	-	-
Vendas de Ativos Fixos	+	-	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA LIVRE (FCF)		-114.550	-68.798	-19.672	16.080	-186.942
Financiamentos Longo Prazo	+	250.000	-	-	-	250.000
Amortização de Financiamentos	-	-	-	-	-	-
Pagamento de Juros	-	-	-	-	-12.500	-12.500
Amortização de empréstimos Curto Prazo	-	-	-	-	-	-
Recursos Próprios	+	-	-	-	-	-
CAIXA GERADA NO PERÍODO		135.450	-68.798	-19.672	3.580	50.558
Retirada de Dividendos	-	-	-	-	-	-
CAIXA GERADA À CUMULADA		135.450	66.651	46.979	50.558	50.558

Quadro 23 - Projeção de Fluxo de Caixa para o primeiro ano.

Fonte: Própria.

Os quadros não apresentam retiradas de pró-labore porque os sócios recebem salários desempenhando funções dentro da empresa.

Na projeção de custos dos produtos vendidos foi adicionado ao valor de matéria prima custos com equipamentos, marketing e jurídicos iniciais, sendo 30 mil reais no primeiro ano e 50 mil reais reinvestidos no terceiro ano.

MC&Tech	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão
	1	2	3	4	5
FLUXO DE CAIXA PROJETADO	Ano1	Ano2	Ano3	Ano4	Ano5
RECEITA BRUTA					
Vendas de Produtos	286.000	660.000	1.276.000	1.748.000	2.116.000
Vendas de Serviços	-	-	-	-	-
TOTAL DE RECEITA BRUTA	286.000	660.000	1.276.000	1.748.000	2.116.000
% dos Impostos sobre Vendas	18%				
IMPOSTOS SOBRE VENDAS	51.480	118.800	229.680	314.640	380.880
RECEITA LÍQUIDA	234.520	541.200	1.046.320	1.433.360	1.735.120
CUSTO DOS PRODUTOS VENDIDOS					
Mão de Obra Direta					
Matéria Prime e Materiais Diretos	127.500	225.000	485.000	595.909	721.364
Despesas Indiretas	8.000	16.000	32.000	40.000	48.000
MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO	99.020	300.200	529.320	797.451	965.756
% da Receita Líquida	42%	55%	51%	56%	56%
DESPESAS DE VENDAS					
Fixas	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000
% sobre Receitas Brutas	3%				
DESPESAS DE VENDAS	10.580	23.800	44.280	60.440	73.480
DESPESAS FIXAS					
Pessoal + Encargos + Benefícios	94.602	184.497	281.059	381.059	495.902
Retiradas e Pró-labore	-	-	-	-	-
Aluguéis+ Impostos+ Condomínios	3.600	3.600	4.800	4.800	4.800

Administração	-	-	-	-	-
Depreciação / Amortização	8.580	19.800	38.280	52.440	63.480
Contas: água, luz, telefone, etc.	7.660	8.850	9.550	10.250	11.350
DESPESAS FIXAS	106.782	207.897	324.139	438.299	564.182
LUCRO					
Lucro Operacional	(18.342)	68.503	160.901	298.712	328.094
Imposto de Renda 10%	-	6.850	16.090	29.871	32.809
LUCRO LÍQUIDO APÓS IR	(18.342)	61.653	144.811	268.841	295.285
% da Receita Líquida	-8%	11%	14%	19%	17%
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO	Dez Ano1	Dez Ano2	Dez Ano3	Dez Ano4	Dez Ano5
Contas a Receber no final do período	28.600	66.000	127.600	174.800	211.600
Estoques no final do período	140.000	180.000	140.000	140.000	220.000
Contas a Pagar no final do período	-	-	-	-	-
Impostos a Pagar no final do período	-	-	-	-	-
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO	(168.600)	(77.400)	(21.600)	(47.200)	(116.800)
Depreciação no período	+	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL	-186.942	-15.747	123.211	221.641	178.485
Investimentos em Ativo Fixo					
Adições aos Ativos Fixos	-	-	-	-	-
Vendas de Ativos Fixos	+	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA LIVRE (FCF)	-186.942	-15.747	123.211	221.641	178.485
Financiamentos Longo Prazo	+	250.000	-	-	-
Amortização de Financiamentos	-	-	-	-100.000	-150.000
Pagamento de Juros	-	-12.500	-12.500	-12.500	-7.500
Amortização de empréstimos Curto Prazo	-	-	-	-	-
Recursos Próprios	+	-	-	-	-
CAIXA GERADA NO PERÍODO	50.558	-28.247	10.711	64.141	178.485
Retirada de Dividendos	-	0	0	0	50000
CAIXA GERADA ÀCUMULADA	50.558	22.311	33.022	47.162	175.647

Quadro 24 - Projeção de fluxo de caixa para os próximos 5 anos.

Fonte: Própria.

6.9.6 Viabilidade do Empreendimento

O empreendimento se mostra viável economicamente, porém necessita respeitar alguns pontos importantes que serão explicados a seguir.

Através da análise de mercado realizada para a venda do módulo RPCS no mercado nacional, pondera-se que este não torna o negócio viável, já que é um nicho com relativamente poucos clientes e que proporcionaria um bom volume de vendas até o terceiro ano. Partindo deste pressuposto, estratégias foram traçadas para contornar este declínio nas vendas, sendo estas a exportação do produto, e o desenvolvimento de novos produtos. Estas

estratégias necessitam uma melhor análise tanto do mercado externo quando do interno no caso dos novos produtos.

Por fim, a conclusão é que o produto se mostra eficaz para propiciar a entrada da empresa no mercado, consolidando sua marca e criando uma estrutura tanto de produção, quando de administração e marketing, que dará condições para a empresa buscar novas fontes e crescer no mercado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto tem como tema principal a utilização de tecnologia de ponta para auxiliar no estudo do sono. Este estudo é voltado para diagnóstico e tratamento de diversos distúrbios relacionados ao sono, como é o caso da apneia, ronco e sonambulismo. As tecnologias utilizadas visam facilitar a busca por respostas neste estudo, automatizando processos de diagnósticos, supervisionando métodos de tratamentos, levando para mais pessoas a oportunidade de tratamento e facilitando a interação entre o usuário e a “máquina”.

Dentro da área do sono, o projeto busca adquirir dados contínuos do posicionamento do usuário durante o sono, o que é uma atividade importante já que estes movimentos podem ser sintomas de vários distúrbios. Para realizar estas medições algumas alternativas surgiram, sendo as principais o uso de acelerômetros que indiquem a inclinação do corpo do usuário e a utilização de câmeras para monitoramento, onde as medidas são feitas por análise de imagem, e. Como uma das propostas era tornar o produto portátil e assim abranger possivelmente um maior número de pessoas, a proposta do acelerômetro se mostrou mais atraente.

Com a escolha do acelerômetro veem algumas restrições, como as dimensões do módulo que colhe as informações, que necessita ser pequeno o suficiente a ponto de não causar desconforto e nem interferir no sono do usuário.

A partir deste ponto, uma metodologia é seguida, sendo que esta inclui uma etapa de estudos das tecnologias disponíveis que realizem a proposta especificada, uma etapa de desenvolvimento e projeto de módulos que capturem e transmitam a informação até um software, seguindo de uma etapa de montagem de um protótipo inicial, uma fase de estudos de reduções de tamanho físico do módulo que é acoplado ao corpo e finalmente a montagem de um protótipo final que responda as necessidades preestabelecidas.

Nestes processos, algumas dificuldades foram encontradas, sendo a principal a busca por componentes pequenos o suficiente para serem acoplados ao módulo fixo, o que nos levou a componentes cujo quais não possuíamos tecnologia para soldar ou de preço muito elevado.

Porém, ainda assim as especificações de projeto foram alcançadas com o desenvolvimento do módulo RPCS (Módulo de Registro de Posicionamento Corporal durante o Sono).

Com este desenvolvimento pode-se observar alguns importantes resultados, sendo os principais:

- Um estudo aprofundado sobre as tecnologias disponíveis, focando nos microcontroladores e transmissores sem fio.

- Um protótipo de produto funcional, composto por:
 - Um módulo móvel com um transdutor que capta a posição do usuário a uma distância máxima de 4 metros, e transmite os dados a uma taxa de 16 amostras por segundo por comunicação sem fio para um módulo fixo.
 - Um módulo fixo, que recebe os dados do módulo móvel e realiza a comunicação destes via serial com um software em um computador.
 - Um software que recebe os dados, registra e armazena estes, simula-os em tempo real, reproduz arquivos previamente gravados, e gera gráficos e relatórios para análises.
- Redução das dimensões que do módulo móvel, reduzindo em 41% o tamanho do primeiro protótipo.
- Módulo móvel com baixo consumo de energia, conseguindo atuar por 17 horas ininterruptas.
- Observando a parte econômica, foi desenvolvido um módulo relativamente barato quando comparado aos equipamentos utilizados em estudos do sono, sendo que, por exemplo, representa no máximo 5% do custo de um equipamento de eletroencefalograma, assim auxiliando na busca por abranger um maior número de pessoas.
- Por fim, podemos citar que o equipamento traz um benefício social, e visa que, caso seja possível incluí-lo no mercado, aumente o número de pessoas com acesso a tratamento de sono, devido principalmente ao fato de ser um equipamento portátil que leve o exame literalmente até as casas dos pacientes.

Com estes resultados pode-se concluir que o módulo RPCS traz alguns benefícios importantes, tantos tecnologicamente, como econômica e socialmente. Porém fica o anseio de melhorar o projeto e criar novas funções que o tornem mais completo, como funções para monitorar os batimentos cardíacos pelo mesmo módulo acoplado ao usuário, assim como monitorar os movimentos respiratórios através de um acelerômetro com maior precisão em pequenos movimentos e ainda realizar o monitoramento da temperatura corporal. Estes são os planos e ações almejados para o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABS. **Associação Brasileira do Sono**, 2012. Disponível em: < <http://www.sbsono.com.br/absono/artigos.htm> >. Acesso em 20 set. 2012.
- [2] OMS. **Organização Mundial de Saúde**, 2012. Disponível em: < <http://www.isaude.net/pt-BR/noticia/26117/geral/quase-45-dos-brasileiros-sofrem-com-disturbios-ou-sindromes-do-sono> >. Acesso em 10 ago. 2012.
- [3] ABIMO. **Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos e Hospitalares e de Laboratórios**. Dados Econômicos. 2012. Disponível em: < <http://www.abimo.org.br/modules/content/content.php?page=dados-economicos> >. Acesso em 18 jun. 2012.
- [4] DENATRAN, **Departamento Nacional de Trânsito**. “Resolução Nº 267 de 18 de fevereiro de 2008”. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_267.pdf>. Acesso em 22 jun. 2012.
- [5] Texas Instruments, **MSP430 USB Stick Development Tool**, 2012. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/ez430-f2013> >. Acesso em 03 mar. 2012.
- [6] Texas Instruments, **eZ430-F2013 Development Tool User’s Guide**, revisão D, SLAU176D. 2010. Página 5.
- [7] Texas Instruments, **MSP-EXP430G2 LaunchPad Experimenter Board User’s Guide**, revisão C, SLAU318C. 2012. Página 6.
- [8] Texas Instruments, **MSP430 LaunchPad Value Line Development**, 2012. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2> >. Acesso em 07 mar. 2012.
- [9] Texas Instruments, **eZ430-RF2500 Development Tool User’s Guide**, revisão E, SLAU227E. 2009. Página 7.
- [10] Texas Instruments, **MSP430 Wireless Development Tool**, 2012. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/ez430-rf2500> >. Acesso em 09 mar. 2012.
- [11] STMicroelectronic, **STM32VLDISCOVERY**, 2012. Disponível em: < <http://www.st.com/internet/evalboard/product/250863.jsp> >. Acesso em 15 mar. 2012.
- [12] FriendlyARM, **Micro2440 | S3C2440 ARM9 Stamp Module**, 2012. Disponível em: < <http://www.friendlyarm.net/products/micro2440> >. Acesso em 15 mar. 2012.
- [13] Texas Instruments, **OMAP-L138 C6-Integra™ DSP+ARM® Processor**, revisão D, SPRS586D. 2011. Páginas 1-2.
- [14] Texas Instruments, **OMAP-L138 Experimenter Kit**, 2012. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/tmdsexpl138> >. Acesso em 15 mar. 2012.
- [15] eSysTech, **Placa eAT55**, 2012. Disponível em: < <http://www.esystech.com.br/produtos/hard/eAT55.php> >. Acesso em 15 mar. 2012.

- [16] Wikipedia, **Bluetooth**, 2012. Disponível em: < <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> >. Acesso em 12 mar. 2012.
- [17] STMicroelectronics, **STM32VLDISCOVERY USER MANUAL**, revisão 2, UM0919. 2011. Página 1.
- [18] Wikipedia, **IEEE 802.15.4**, 2012. Disponível em: < http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4>. Acesso em 13 mar. 2012.
- [19] Wikipedia, **ZigBee**, 2012. Disponível em: < <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee> >. Acesso em 13 mar. 2012.
- [20] Texas Instruments, **CC2500 Low-Cost Low-Power 2.4 GHz RF Transceiver**, revisão C, SWRS040C. 2011. Páginas 1-2.
- [21] Future Electronics, **Evaluation Kit for MMA7660FC 3-axis Linear Accelerometer**, 2012. Disponível em < <http://uk.futureelectronics.com/en/technologies/development-tools/analog-power/Pages/7645419-KIT3803MMA7660FC.aspx> >. Acesso em 28 mar. 2012.
- [22] LondonCell, **Baterias Nokia**, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: < <http://londoncell.blogspot.com.br/2010/11/baterias-nokia.html> >. Acesso em 18 jul. 2012.
- [23] Dicomp, **Bateria Lithium CR2032 Blister**, 2012. Disponível em: < <http://www.dicomp.com.br/produto/7746/bateria-lithium-cr2032-blister-com-5-unidades-timrich> >. Acesso em 18 jul. 2012.
- [24] Mauser, **Comércio de Componentes Eletrônicos Lda.**, 2012. Disponível em: < http://www.mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=56334 >. Acesso em 18 jul. 2012.
- [25] Império, **Capa Braçadeira Esportiva**, 2012. Disponível em: < <http://www.lojaimperio.com.br/ipod-nano/case-bracadeira-esportiva-para-ipod-nano-6-gerac-o-preto.html> >. Acesso em 20 ago. 2012.
- [26] Maxim Integrated Products, **+5V-Powered, RS-232 Multichannel Drivers/Receivers**, 2003. Página 17. Disponível em: < <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf> >. Acesso em: 10 mai. 2012.
- [27] BHD. Brazilian Health Devices, 2012. Fonte: **Estudo Setorial da Indústria de Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios no Brasil, IEMI e ABIMO**, Maio de 2011. Disponível em: <<http://www.brazilianhealthdevices.com.br/market>>. Acesso em 20 jun. 2012.
- [28] MORELI, C. Érico; et al. “*Cenários Internacional e Nacional do Setor de Equipamentos Médicos, Hospitalares e Odontológicos.*” 2010. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/ingtec/htdocs/uploads/8f6bc036-8ce7-2e50.pdf>>. Acesso em 20 jun. 2012.
- [29] Texas Instruments, **SimpliciTI Compliant Protocol Stack**, 2012. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/simpliciti> >. Acesso em 20 mar. 2012.

- [30] CIMES. **Congresso da Inovação em Materiais e Equipamentos para Saúde**, 2012. Disponível em: <<http://www.cimes.org.br/noticias/pagina/72/Brasil-que-ser-5-no-setor-de-saude>>. Acesso em 18 jun. 2012.
- [31] Freescale, **MMA7660FC 3-Axis Orientation/Motion Detection Sensor**, revisão 8. 2012. Página 1.
- [32] ITA. International Trade Administration. **Medical Device Industry Assessment**. Disponível em: <<http://www.ita.doc.gov/td/health/Medical%20Device%20Industry%20Assessment%20FINAL%20II%203-24-10.pdf>>. Acesso em 20 jun 2012.
- [33] Logic PD, **Zoom™ OMAP-L138 eXperimenter Kit**, revisão D. 2010. Páginas 1-2.
- [34] R. Braden, RFC 1122: "**Requirements for Internet Hosts - Communication Layers**", 2012. Disponível em <<http://tools.ietf.org/html/rfc1122>>. Acesso em 24 mar. 1989.
- [35] STMicroelectronics, **STM32F100x4 STM32F100x6 STM32F100x8 STM32F100xB Low & medium-density value line, advanced ARM-based 32-bit MCU with 16 to 128 KB Flash, 12 timers, ADC, DAC & 8 comm interfaces**, revisão 7, Doc ID 16455. 2012. Página 1.
- [36] Texas Instruments, **MSP430F22x2, MSP430F22x4 Mixed Signal Microcontroller**, revisão G, SLAS504G. 2012. Páginas 1.