

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE ELETRÔNICA
INDUSTRIAL E TELECOMUNICAÇÕES

LUCAS WEBER

**SISTEMA SEM FIO PARA MEDIÇÃO EM TEMPO REAL
DE VARIÁVEIS CINEMÁTICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

LUCAS WEBER

**SISTEMA SEM FIO PARA MEDIÇÃO EM TEMPO REAL
DE VARIÁVEIS CINEMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro – Área de Concentração: Engenharia Industrial Elétrica - Ênfase Eletrônica Industrial e Telecomunicações.

Orientador: Miguel Sovierzoski

CURITIBA

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Miguel Sovierzoski pelo seu interesse e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao Professor Doutor Humberto Gamba por me ofertar o primeiro estágio na área de desenvolvimento de hardware, embora não tivesse, à época, qualquer experiência na área.

Aos Srs. Robert Österle, Eduardo Bregant, Alexandre Vidal e Geraldo Kosel pela inestimável mentoria profissional, que me permitiu adquirir os conhecimentos que me foram indispensáveis à realização deste trabalho.

Em especial, aos meus pais pelo seu imensurável esforço e renúncia em prol da minha formação acadêmica.

A Deus, de quem, como disse Louis Paster, o excesso de ciência me aproxima.

A todos os meus amigos, cujas minuciosas participações em minha vida têm, com toda a certeza, incalculável significado.

It requires a very unusual mind to undertake the analysis of the obvious. (WHITEHEAD, Alfred North, 1953)

RESUMO

WEBER, Lucas. Sistema sem fio para medição em tempo real de variáveis cinemáticas. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A medição do estado de movimento de um sistema é de grande utilidade a diversos campos da ciência, tais como a mecânica, engenharia e medicina. Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema de telemetria de aceleração denominado Monitor de Atividade Motora (MAM), constituído por um conjunto de pequenos sensores dotados de acelerômetros MEMS e módulos de rádio Bluetooth. Por meio de um software para computador, o usuário pode visualizar graficamente os dados fornecidos pelos sensores em tempo real. O MAM foi eficazmente utilizado para a obtenção de dados úteis ao estudo do movimento de um elevador, ao estudo de tremores humanos classificados como tremores fisiológicos e ao estudo do impacto de uma ferramenta de furação sobre o corpo do operador. O projeto eletrônico dos sensores prevê a possibilidade de montagem de outro componente sensor com vistas à evolução do sistema.

Palavras-chave: Telemetria de aceleração. Acelerometria MEMS. Bluetooth.

ABSTRACT

WEBER, Lucas. Wireless system for real time measurement of kinematic variables. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The measurement of a system movement state is useful for many fields of the Science, namely Mechanics, Engineering and Medicine. This project aimed at developing an acceleration telemetry system called *Monitor de Atividade Motora* (Motor Activity Monitor), consisting in a set of small sensors embedding a MEMS accelerometer and a Bluetooth radio module. Using a computer software, user is able to visualize charts of the real time acquired data. The Motor Activity Monitor has been successfully used for acquiring data for the study of the movement of an elevator, for the study of a human tremor known as physiologic tremor and for the study of the impact caused by a drilling machine on the worker body. The electronic project of the sensors grants the possibility of assembling another metering component for future improvements of the system.

Keywords: Acceleration telemetry. MEMS accelerometer. Bluetooth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe de um atuador MEMS.	14
Figura 2 – Logotipo da tecnologia Bluetooth.	16
Figura 3 – Bateria CR2032 (20 x 3,2 mm).....	17
Figura 4 – Tensão da bateria CR2032 em função da corrente fornecida.	18
Figura 5 – Diagrama em blocos dos componentes do Monitor de Atividade Motora (MAM).	19
Figura 6 – Vista superior da PCBA dos sensores.	20
Figura 7 - Vista inferior da PCBA dos sensores.	20
Figura 8 – Ilustração dos perfis da PCBA dos sensores.	20
Figura 9 – Diagrama em blocos do Hardware dos sensores do MAM.	21
Figura 10 – Localização dos blocos funcionais na placa dos sensores.	21
Figura 11 – Localização dos blocos funcionais na placa dos sensores.	22
Figura 12 – Módulo de rádio Bluetooth 4.0, da Bluegiga.	22
Figura 13 – Acelerômetro LIS3DH, da STMicroelectronics (3 x 3 mm).....	23
Figura 14 – Organização do firmware do módulo de rádio.	24
Figura 15 – Diagrama de estados simplificado do firmware do sensor.	25
Figura 16 – BLED112, da Bluegiga.	26
Figura 17 – Tela do software do MAM, após a conexão com o <i>Front End</i>	27
Figura 18 – Estrutura simplificada do software do Monitor de Atividade Motora.	28
Figura 19 – Aquisição de dados utilizando o software do MAM.	29
Figura 20 – Detalhe da interface de identificação e conexão com o <i>Front End</i>	29
Figura 21 – Habilitação do modo de escaneamento dos sensores.	29
Figura 22 – Listagem dos sensores ligados.	30
Figura 23 – Interface de controle da aquisição de dados.	30
Figura 24 – Gráfico da aceleração do sensor.	31
Figura 25 – Gráfico da velocidade do sensor.	31
Figura 26 – Gráfico da posição do sensor.	31
Figura 27 – Gráfico da aceleração do elevador durante a subida.	32
Figura 28 – Gráfico da aceleração do elevador durante a descida.	33
Figura 29 – Medição do tremor das mãos.	34
Figura 30 – Gráfico da aceleração imposta por uma ferramenta de furação ao corpo do operador durante a furação de um bloco de concreto.	35
Figura 31 – Detalhe de um sensor do Monitor de Atividade Motora.	42
Figura 32 – Reconstrução do movimento de uma pessoa a partir dos dados dos sensores.	42
Figura 33 – Gráfico de aceleração ao longo do tempo.	43
Figura 34 – Análise motora durante uma corrida.	43

Figura 35 – Técnica Biofeedback de reabilitação.....	44
Figura 36 – Movimento de uma ginasta durante a prática esportiva.	44
Figura 37 – Monitor de Atividade RT3.....	45
Figura 38 – Monitor de Atividade activPAL.	45
Figura 39 – Dados obtidos por meio do activPAL.	46
Figura 40 – Monitor de Atividade AMP 331, da Dynastream Innovations Inc.	46
Figura 41 – Monitor de Atividade Protética, da Össur Americas.	47
Figura 42 – Conceito de sensor de EEG.....	48
Figura 43 – Conceito para a nova geração de sensores do Monitor de Atividade Motora. ...	49
Figura 44 - Movimentação do mercado de equipamentos e suprimentos médicos.	50
Figura 45 – Cronograma simplificado.	55
Figura 46 - Layout da sede da empresa.....	56
Figura 47 - Processo de produção do MAM.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características principais dos protocolos Bluetooth clássico e BLE.	16
Tabela 2 – Resumo das características do acelerômetro LIS3DH, da STMicroelectronics. .	23
Tabela 3 – Cronograma planejado de execução do Trabalho de Conclusão de Curso.	36
Tabela 4 – Cronograma executado do Trabalho de Conclusão de Curso.	36
Tabela 5 – Análise de riscos e planos de contingência.	37
Tabela 6 – Custo estimado para a fabricação da placa de um sensor.	38
Tabela 7 – Custo total estimado para o projeto.	38
Tabela 8 – Custo efetivo para a fabricação de um sensor.	38
Tabela 9 – Custo total do projeto.	39
Tabela 10 – Forecast para o Monitor de Atividade Motora.	54
Tabela 11 – Cronograma simplificado.	55
Tabela 12 – Recursos humanos.	55
Tabela 13 - Investimentos pré-operacionais	58
Tabela 14 – Investimentos fixos.	58
Tabela 15 – Custos e despesas com recursos humanos.	58
Tabela 16 - DRE	59

LISTA DE SIGLAS

MEMS	Sistema Microeletromecânico (<i>Microelectromechanical System</i>)
SIG	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
ISM	Banda Industrial, Científica e Médica (<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
<i>Band</i>)	
GFSK	<i>Gaussian frequency-shift keying</i>
DQPSK	<i>Differential quaternary phase-shift keying</i>
PCBA	Printed Circuit Board Assembly

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS	14
3.1	MEMS	14
3.1.1	Visão geral	14
3.1.2	Acelerômetros MEMS	15
3.2	BLUETOOTH 4.0	15
3.3	BATERIA CR2032	17
4	DESCRIÇÃO DO HARDWARE, FIRMWARE E SOFTWARE	19
4.1	VISÃO GERAL	19
4.2	SENSORES	19
4.2.1	Descrição de Hardware	19
4.2.2	Descrição de Firmware	23
4.3	FRONT END	26
4.4	SOFTWARE	26
5	RESULTADOS	32
5.1	ESTUDO DE CASO 1: ELEVADOR	32
5.2	ESTUDO DE CASO 2: TREMOR HUMANO	33
5.3	ESTUDO DE CASO 3: FURADEIRA	34
6	RELATÓRIO DE GESTÃO	36
6.1	CRONOGRAMA	36
6.2	RISCOS	37
6.2.1	Identificação e elaboração de planos de contenção de riscos	37
6.2.2	Ocorrência e contenção de riscos	37
6.3	ORÇAMENTO	38
7	PLANO DE NEGÓCIO	40
7.1	SUMÁRIO EXECUTIVO	40
7.2	DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO	41
7.2.1	Visão	41
7.2.2	Missão	41
7.2.3	Valores	41
7.3	OBJETIVOS	41
7.3.1	Objetivo Principal	41
7.4	PRODUTOS E SERVIÇOS	41
7.4.1	Descrição dos Produtos e Serviços	41
7.4.2	Análise Comparativa	44
7.4.3	Tecnologia	47
7.4.4	Produtos e Serviços Futuros	48
7.5	ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA	49
7.6	DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR (MERCADO, CLIENTE E APLICAÇÃO)	51
7.7	ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO – RESUMO	52
7.7.1	Diferenciais Competitivos	52
7.7.2	Estratégia de Marketing	53
7.7.3	Estratégia de Vendas	53
7.7.4	Alianças Estratégicas	54
7.7.5	Cronograma	54

7.8	PLANO OPERACIONAL	55
7.8.1	Recursos Humanos	55
7.8.2	Layout.....	56
7.8.3	Processos Operacionais.....	56
7.8.4	Capacidade Produtiva	57
7.9	PLANO FINANCEIRO	58
7.9.1	Estimativa dos Investimentos pré-operacionais	58
7.9.2	Estimativa dos Investimentos Fixos	58
7.9.3	Custos e Despesas com Recursos Humanos	58
7.9.4	DRE.....	59
7.9.5	Rentabilidade.....	61
7.10	ANÁLISE SWOT	62
7.11	MODELO DE NEGÓCIOS CANVAS	63
8	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A medição da aceleração a que determinados corpos ou sistemas estão sujeitos fornece dados importantes ao estudo de diversas áreas da ciência, tais como a mecânica, engenharia, sismologia, ergonomia, medicina do trabalho, medicina diagnóstica e outras.

Os recentes avanços tecnológicos dos Sistemas Microeletromecânicos (MEMS) de Acelerometria culminaram no desenvolvimento de chips com dimensões muito reduzidas e com características de baixo consumo de energia e desempenho superior às tecnologias anteriores. Surgiram, por isso, diversos dispositivos capazes de quantizar o movimento.

Nesse sentido, desenvolveu-se um sistema de telemetria de variáveis cinemáticas por meio de múltiplos sensores, amparando-se, para tanto, nas tecnologias de acelerometria MEMS e transmissão sem fio Bluetooth. Assim, buscou-se desenvolver um sistema com características adequadas às áreas de pesquisa médica, tecnológica e outras que possam ainda ser eleitas no futuro.

O autor deste trabalho apresenta uma breve descrição das tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema referido com o intuito de justificar a sua adoção. Consta, ainda, no corpo deste relatório, uma apresentação técnica do sistema desenvolvido e a sua aplicação ao estudo de um elevador, ao estudo de um tipo de tremor humano classificado como tremor fisiológico e na análise do impacto físico em decorrência da utilização de uma ferramenta de furação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é projetar e desenvolver um sistema de telemetria de aceleração constituído por um conjunto de pequenos sensores. A aquisição dos dados será feita por um dispositivo conectado ao computador via porta USB e um software permitirá ao usuário visualizar os dados dos sensores em tempo real.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os sensores devem possuir dimensões e massa pequenas. A sua fonte deve operar com uma bateria CR2032. A aceleração será medida por meio de um acelerômetro MEMS e os dados serão transmitidos ao computador por meio de um módulo de rádio Bluetooth 4.0, utilizando o protocolo *Bluetooth Low Energy*.

O dispositivo de recepção que se conectará ao computador deve possuir um módulo de rádio Bluetooth 4.0. O usuário poderá operar o sistema por meio de um software que mostrará os dados dos sensores em tempo real por meio de gráficos. O programa deve permitir, ainda, o salvamento dos dados adquiridos em arquivos que possam ser lidos por outros softwares de edição de sinais digitais.

3 PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS

3.1 MEMS

3.1.1 Visão geral

Em 1989, Roger T. Howe, professor do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Stanford, descreveu como Sistema Microeletromecânico (*Micro Electromechanicalsystem* - MEMS) uma tecnologia emergente de dispositivos que incorporavam elementos mecânicos de dimensões da ordem de circuitos eletrônicos, tais como transistores (ANDREJAŠIČ, 2008, p. 2).

Dispositivos MEMS são, em geral, compostos por uma ou mais unidades de processamento e por elementos com dimensões entre 1 e 100 micrometros que interagem com o ambiente como microsensores ou microatuadores. A Figura 1 apresenta um atuador MEMS fabricado em substrato de silício, para aplicações ópticas.

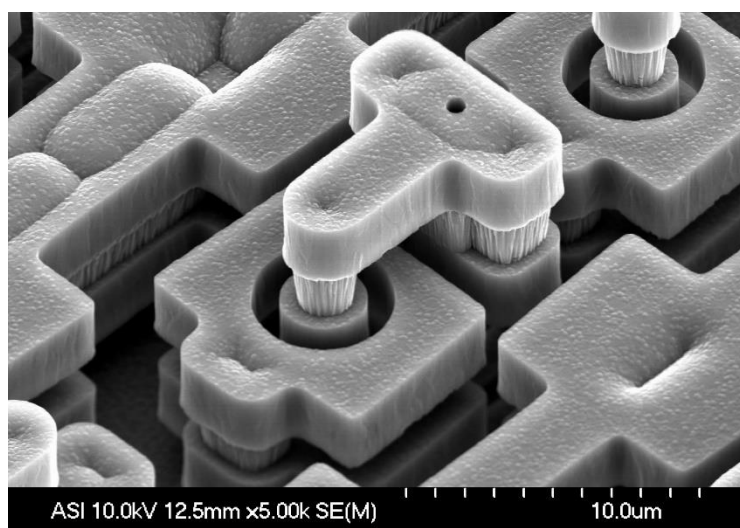


Figura 1 – Detalhe de um atuador MEMS.

FONTE: Disponível em: <<http://www.memx.com/products.htm>>

Ao passo que a microeletrônica é composta por estruturas sólidas e compactas, MEMS possuem cavidades, canais, membranas e outros elementos incomuns a dispositivos eletrônicos. A partir da década de 1980, diversas tecnologias de deposição e microusinagem foram desenvolvidas ou aprimoradas com o objetivo de viabilizar a produção em escala industrial destes dispositivos. Os processos básicos são a deposição de camadas de substratos diferentes, modelagem por fotolitografia e usinagem (PRIME Faraday Partnership, 2003).

Embora materiais como polímeros, cerâmica e metais também sejam utilizados, o substrato de silício é o mais utilizado, como resultado da ampla experiência com o material adquirida com a microeletrônica.

Os dispositivos MEMS dividem-se basicamente em seis categorias: sensores de pressão, sensores inerciais (acelerômetros, giroscópios, magnetômetros e outros), microdispositivos para fluidos, análises clínicas, óptica e RF, cujos principais fabricantes são Motorola, Analog Devices, Freescale, STMicroelectronics, Texas Instruments, Sensoror e Delphi.

3.1.2 Acelerômetros MEMS

O primeiro acelerômetro MEMS foi desenvolvido na Universidade de Stanford, em 1979. Apenas quinze anos depois, deu-se início à produção em escala comercial de um acelerômetro MEMS (ANDREJAŠIČ, 2008, p. 2).

A fabricação de acelerômetros MEMS envolve, em geral, tecnologia proprietária. Algumas tecnologias, no entanto, são de domínio público, tais como acelerômetros piezoelétricos. Estes utilizam o princípio do efeito piezoelétrico, segundo o qual cristais microscópicos geram, quando submetidos a estresses mecânicos – neste caso, forças de aceleração -, diferenças de potencial. Esta tensão é então medida para se calcular a aceleração. É possível também calcular a aceleração medindo as variações da capacitância destes mesmos cristais.

O acelerômetro LIS3DH, que é utilizado neste trabalho, é fabricado pela empresa STMicroelectronics e utiliza tecnologia proprietária. O manual do componente descreve brevemente o sensor como uma estrutura de silício com liberdade de movimentação, presa ao substrato por pequenos engates denominados âncoras. O deslocamento do corpo de silício gera um desequilíbrio em uma ponte capacitiva, da ordem de fentofarads. A aceleração é então calculada medindo-se a as variações da capacitância da ponte (STMicroelectronics, 2010).

3.2 BLUETOOTH 4.0

Bluetooth é uma tecnologia de transmissão sem-fio entre curtas distâncias, que opera na banda livre ISM, entre 2,4 GHz e 2,485 GHz. A especificação da tecnologia, cujo logotipo é mostrado na Figura 2, é gerida pelo comitê SIG (*Bluetooth Special Interest Group*), que reúne diversas empresas das áreas de telecomunicação, eletrônica e computação (Bluegiga Technologies, 2013).



Figura 2 – Logotipo da tecnologia Bluetooth.

FONTE: Disponível em: <<https://www.bluetooth.org/en-us/bluetooth-brand/bluetooth-brand>>

O rádio Bluetooth utiliza uma tecnologia denominada *frequency-hopping spread spectrum* (FHSS), que consiste na transmissão simultânea em mais de um canal seguindo uma sequência conhecida entre o transmissor e o receptor. Dessa forma, é possível reduzir os efeitos de interferências, aumentar a proteção contra interceptações da transmissão e otimizar o compartilhamento da banda ISM com outros dispositivos sem fio.

A especificação atual da tecnologia Bluetooth é a versão 4.0, que contempla dois modos de operação: o modo clássico e o modo de baixo consumo, denominado *Bluetooth Low Energy* (BLE). No protocolo clássico, a banda ISM é dividida em 79 canais com largura de 1 MHz cada e as modulações utilizadas são GFSK e DQPSK. No protocolo BLE, o mesmo espectro é dividido em 40 canais com largura de 2 MHz cada e a modulação utilizada é GFSK. A Tabela 1 apresenta as principais características de ambos os modos de operação da versão 4.0 da tecnologia Bluetooth (Bluetooth Special Interest Group, 2014).

Tabela 1 – Características principais dos protocolos Bluetooth clássico e BLE.

Especificação técnica	Protocolo Bluetooth clássico	Protocolo Bluetooth Low Energy
Frequência do rádio	2,4 GHz	2,4 GHz
Alcance	10 a 100 m	10 a 100 m
Taxa de sinalização	1 a 3 Mbps	1 Mbps
Taxa de transmissão efetiva	0,9 a 2,1 Mbps	0 a 250 kbps
Escravos	7	teoricamente ilimitado
Segurança	56 to 128 bit	128-bit AES
Robustez	FHSS	FHSS
Latência	100 ms	6 ms
Regulamentação	universal	universal
Certificação	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG

Transmissão de voz	sim	não
Topologia de rede	ponto-a-ponto, scatternet	ponto-a-ponto, star
Consumo de energia	1 (valor de referência)	0,01 a 0,5 do valor de referência
Service discover	Yes	Yes
Profile concept	Yes	Yes

Ao custo de uma redução significativa na capacidade de transmissão efetiva, o protocolo BLE oferece, em contrapartida, um consumo de energia até cem vezes menor do que protocolo clássico.

3.3 BATERIA CR2032

A bateria de lítio CR2032 fornece 3,0 V, possui dimensões reduzidas e foi desenvolvida para dispositivos compactos. A Figura 3 apresenta a bateria referida.



Figura 3 – Bateria CR2032 (20 x 3,2 mm).
 FONTE: FDK Batteries.

A faixa de temperatura indicada para a utilização é entre -20 °C e 70 °C e a sua carga nominal é de aproximadamente 225 mAh. Segundo dados do fabricante Panasonic, a corrente de curto-circuito da bateria CR2032 é de 200 microampères. A Figura 4 apresenta um gráfico da tensão da bateria CR2032, da Panasonic, em função da corrente de carga.

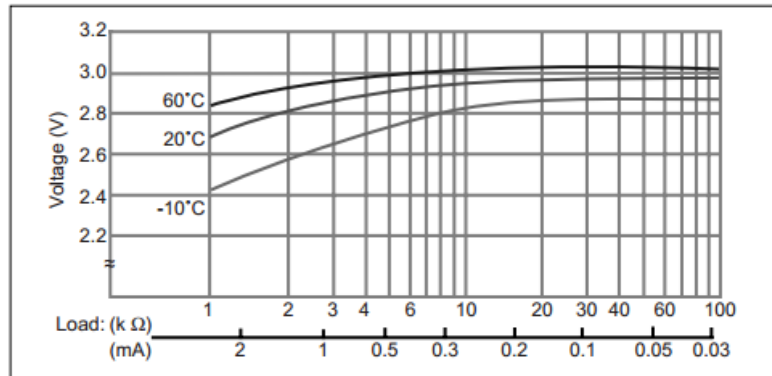


Figura 4 – Tensão da bateria CR2032 em função da corrente fornecida.
FONTE: Panasonic

4 DESCRIÇÃO DO HARDWARE, FIRMWARE E SOFTWARE

4.1 VISÃO GERAL

A Figura 5 apresenta um diagrama em blocos dos principais elementos que compõem o Monitor de Atividade Motora (MAM). O sistema é formado por um conjunto de sensores, um dispositivo de recepção denominado *Front End* e um software para o sistema operacional Windows, por meio do qual o usuário pode gravar e salvar os dados dos sensores. Os próximos capítulos detalham cada um dos componentes do MAM.

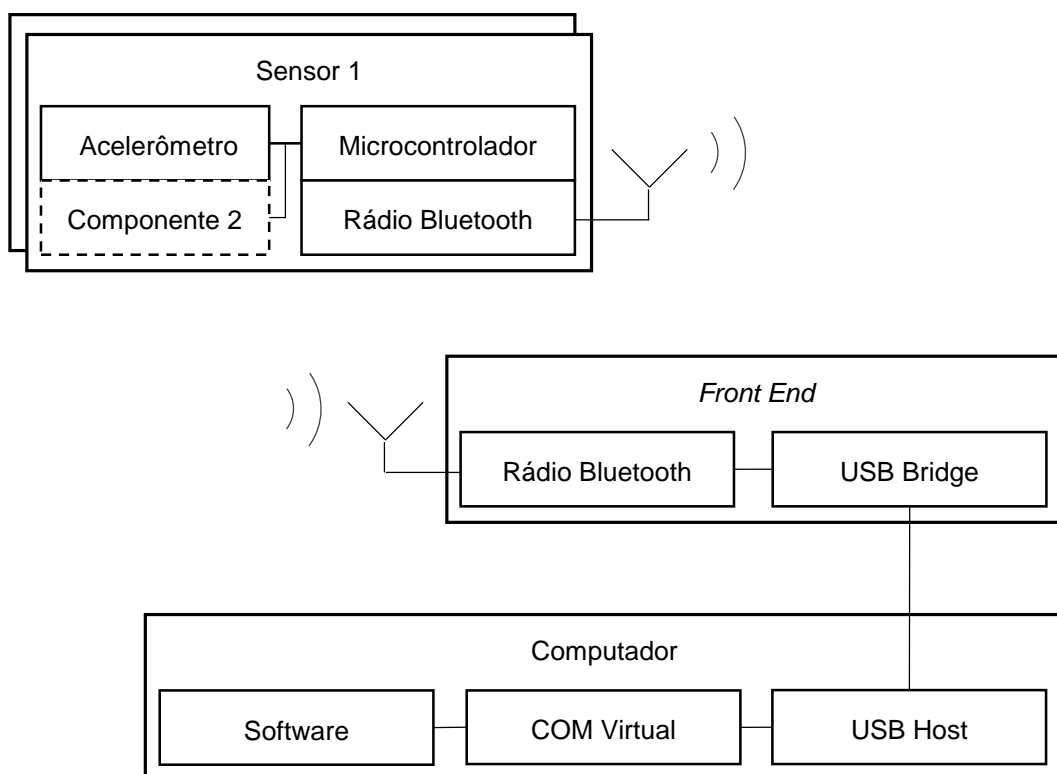


Figura 5 – Diagrama em blocos dos componentes do Monitor de Atividade Motora (MAM).

4.2 SENSORES

4.2.1 Descrição de Hardware

Os sensores do MAM são circuitos que coletam dados dos elementos de metrologia e os transmitem por meio de um rádio Bluetooth ao *Front End* do sistema, como mostra a Figura 5.

Considerando que o sistema deve ser capaz de medir acelerações de baixa magnitude, a placa dos sensores possui dimensões e massa pequenas, de forma a minimizar a interferência no sistema medido. Para tanto, foram utilizados somente componentes de

encapsulamento SMD e a placa de circuito impresso foi projetada na escala da classe C, proporcionando assim, ganhos em miniaturização. A Figura 6 apresenta a visão superior da PCBA dos sensores e as suas dimensões.

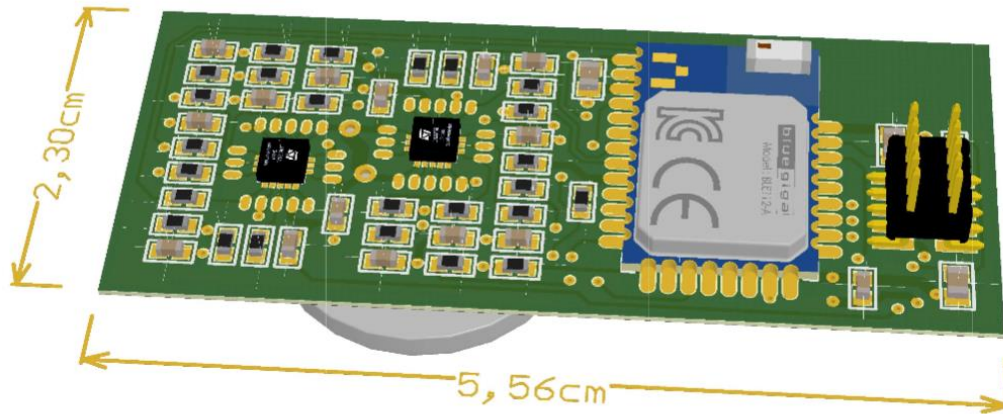


Figura 6 – Vista superior da PCBA dos sensores.

A Figura 7 apresenta a visão inferior da PCBA dos sensores e a Figura 8, os perfis desta.

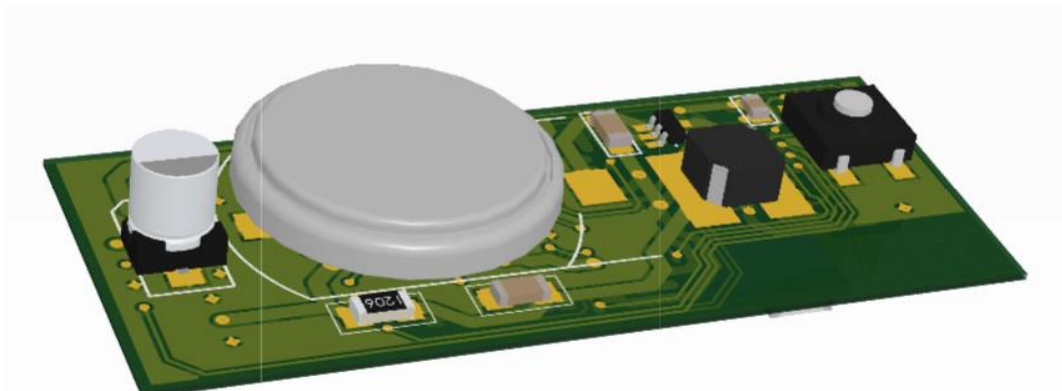


Figura 7 - Vista inferior da PCBA dos sensores.

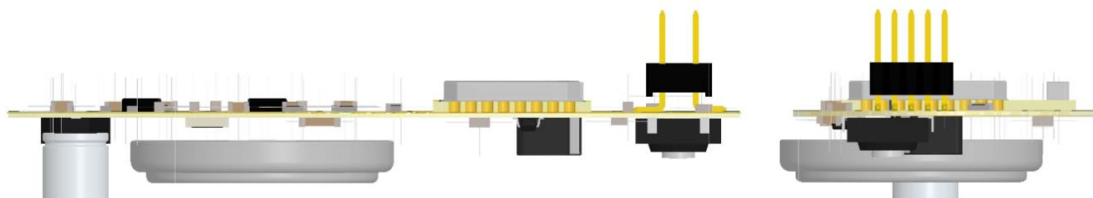


Figura 8 – Ilustração dos perfis da PCBA dos sensores.

É apresentado, na Figura 9, o diagrama em blocos do Hardware. A Figura 10 e a Figura 11 mostram a localização dos blocos funcionais na PCBA.

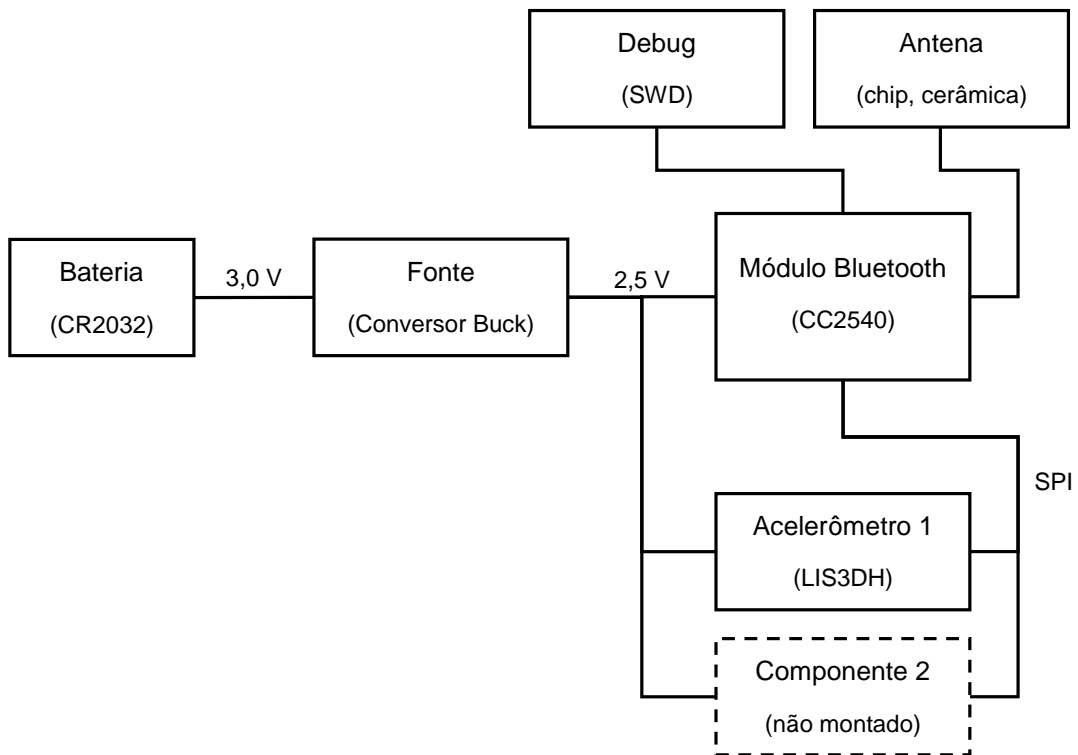


Figura 9 – Diagrama em blocos do Hardware dos sensores do MAM.

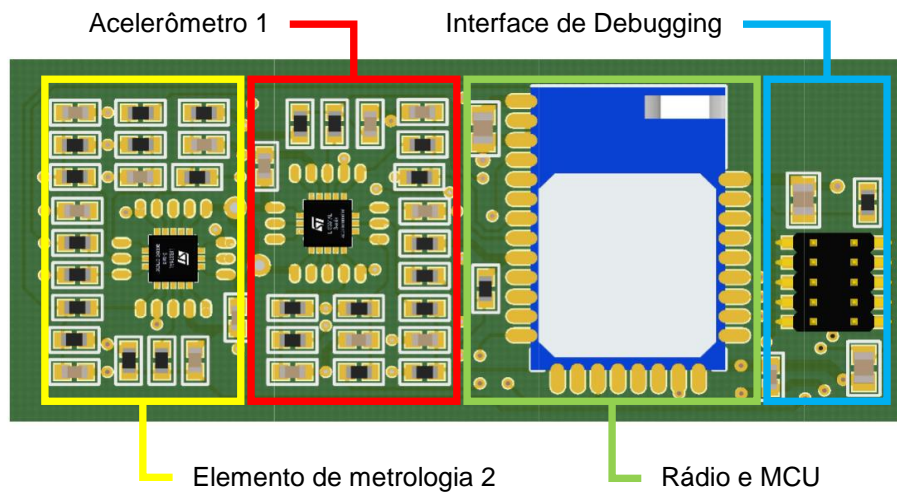


Figura 10 – Localização dos blocos funcionais na placa dos sensores.

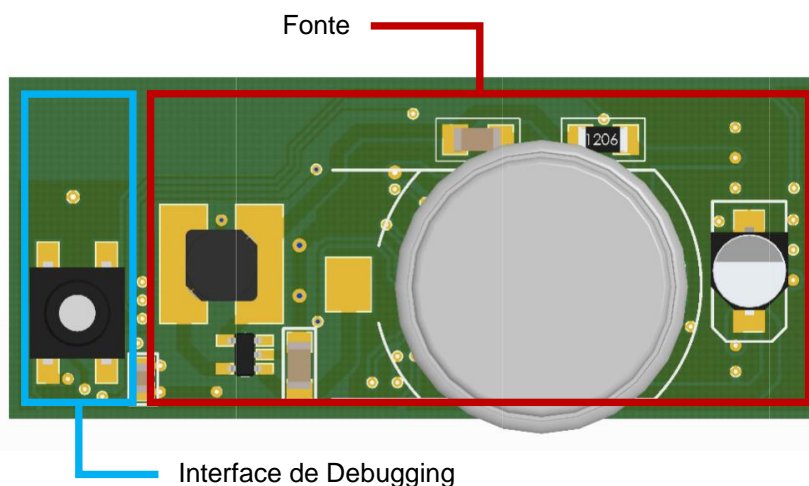


Figura 11 – Localização dos blocos funcionais na placa dos sensores.

No escopo deste trabalho, foi utilizado apenas um acelerômetro como elemento de medida. A placa, no entanto, foi projetada prevendo a instalação de um segundo elemento de metrologia com base nas perspectivas de utilização do MAM em pesquisas.

A fonte de alimentação da placa é uma bateria CR2032, cuja tensão nominal de 3,0 V é reduzida para 2,5 V por meio de um conversor Buck TPS62205, da Texas Instruments.

A comunicação entre os sensores e o *Front End* ocorre por meio de um rádio Bluetooth 4.0 especializado no protocolo *Bluetooth Low Energy*, o que permite reduzir o consumo de energia a uma fração do consumo na configuração tradicional de um rádio Bluetooth 4.0. O componente utilizado é o BLE112-A, da Bluegiga, mostrado na Figura 12.



Figura 12 – Módulo de rádio Bluetooth 4.0, da Bluegiga.
FONTE: Bluegiga Technologies

O módulo de rádio BLE112-A é constituído pelo *System-on-Chip* (SoC) CC2540, da Texas Instruments, e uma antena de chip cerâmica. O SoC CC2540 consiste basicamente em uma versão modificada do microcontrolador 8051 e um transceiver RF para o rádio Bluetooth.

O componente BLE112-A permite a inclusão de código da aplicação do usuário dentro do próprio módulo de rádio, razão pela qual não é utilizada uma unidade de processamento adicional na placa. Assim, o firmware responsável pela configuração do acelerômetro, aquisição dos dados do acelerômetro e envio dos mesmos ao *Front End* é executado no microcontrolador 8051 do SoC CC2540. Conforme apresentado na Figura 9, a comunicação entre o módulo de rádio e o acelerômetro ocorre por meio de um barramento SPI. O mesmo foi projetado para operar em modo full-duplex, com baudrate de 230400 bps.

O acelerômetro utilizado é o LIS3DH (ver Figura 13) da STMicroelectronics, cujas principais características estão resumidas na Tabela 2. Segundo as configurações do firmware, a aceleração a que o sensor é submetido é amostrada a uma taxa de 1250 sps, em três eixos (x, y e z).



Figura 13 – Acelerômetro LIS3DH, da STMicroelectronics (3 x 3 mm).
FONTE: STMicroelectronics

Tabela 2 – Resumo das características do acelerômetro LIS3DH, da STMicroelectronics.

Característica	Valor
Intervalo de medição	$\pm 2 \text{ g}, \pm 4 \text{ g}, \pm 8 \text{ g}, \pm 16 \text{ g}$
Resolução	12 bits
Eixos	3
Taxa de amostragem	1 Hz ~ 5 kHz
Tensão de operação	1,71 V ~ 3,6 V
Consumo típico	11 μA
Encapsulamento	LGA-16

4.2.2 Descrição de Firmware

A principal unidade de processamento dos sensores é um microcontrolador baseado na arquitetura 8051 que está integrado ao SoC CC2540, no módulo de rádio BLE112-A, conforme descrito em 4.2.1. Neste microcontrolador é executado um sistema operacional proprietário da Bluegiga, sobre o qual rodam não somente as tarefas relacionados ao rádio Bluetooth, mas também tarefas do usuário.

A Figura 14 ilustra a estrutura do firmware do rádio. O sistema operacional é preemptivo, garantindo dessa forma que tarefas mais importantes tenham acesso ao processador sempre que necessário. A comunicação entre as tarefas ocorre por meio de trocas de mensagens, que são armazenadas em uma estrutura do tipo FIFO que é gerenciada pelo sistema operacional. Podem ainda enviar mensagens às tarefas as funções tratadoras de interrupção e as funções de Callback, que são evocadas pelo sistema operacional quando eventos específicos ocorrem. Um exemplo de função de Callback utilizada é função Conexão, que envia uma mensagem à tarefa de aplicação MAM informando que uma conexão com o *Front End* do sistema foi estabelecida.

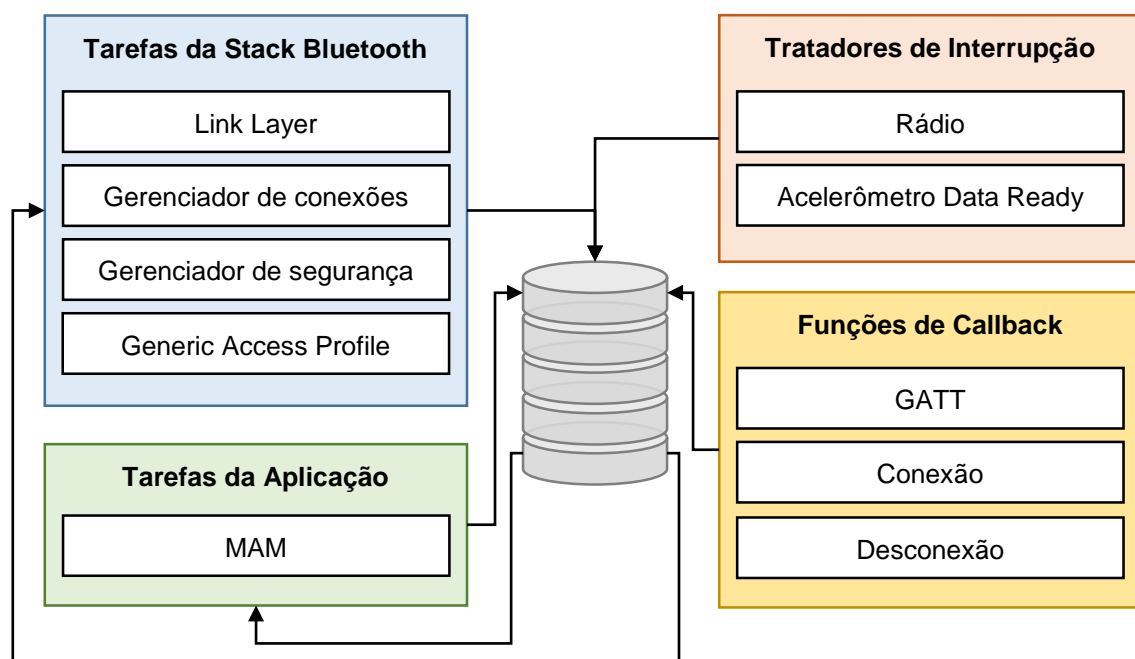


Figura 14 – Organização do firmware do módulo de rádio.

As tarefas “Link Layer”, “Gerenciador de conexões”, “Gerenciador de segurança” e “Generic Access Profile” são responsáveis pela manutenção da Stack Bluetooth e possuem prioridade superior.

A tarefa MAM é a tarefa de aplicação e possui as atribuições de configurar o acelerômetro no momento em que o sensor é ligado e de ler os dados das medições por meio do barramento SPI e transmiti-los ao *Front End*. A Figura 15 apresenta um diagrama de estados simplificado dos eventos geridos pelo firmware do sensor. No momento em que o dispositivo é conectado a uma bateria, o rádio Bluetooth entra em modo de *Advertising*, que consiste no envio de informações ao *Front End* para que seja reconhecido. Ao receber uma solicitação de conexão do *Front End*, o sensor passa para o estado *Conectado*. Neste modo,

o firmware passa a responder a solicitações de ativação e desativação de notificações ao *Front End* do sistema sobre a existência de dados de acelerometria para serem lidos.

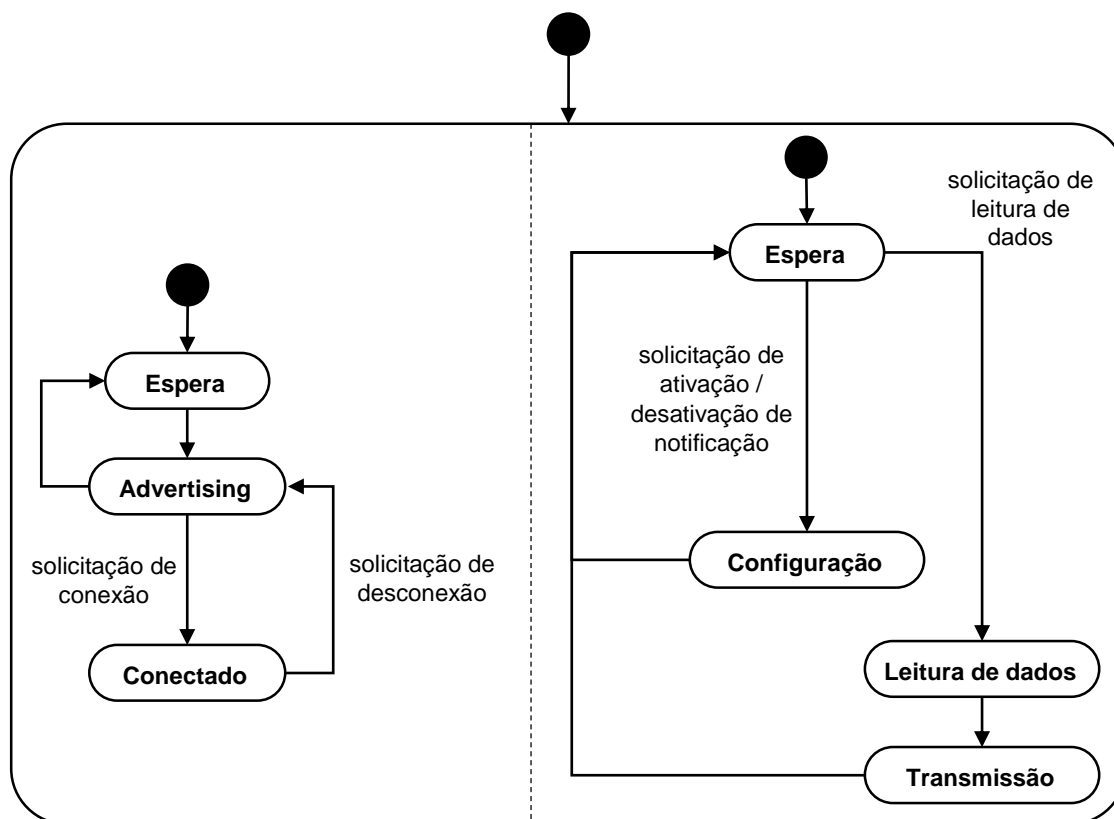


Figura 15 – Diagrama de estados simplificado do firmware do sensor.

A configuração do acelerômetro LIS3DH, realizada no momento em que a placa é ligada, consiste nas seguintes etapas:

1. Ajuste da taxa de amostragem para 1250 amostras por segundo;
2. Seleção da medição em três eixos;
3. Utilização da FIFO do acelerômetro para armazenar os dados das medições;
4. Geração de um sinal de interrupção para sinalizar o módulo de rádio que a FIFO possui dados para serem lidos.

A cada interrupção gerada pelo acelerômetro, o módulo de rádio realiza a leitura de dados referentes a 27 medições. A tarefa MAM solicita então à Stack Bluetooth o envio dos mesmos ao mestre da conexão Bluetooth, que é o *Front End* do sistema. Ao receber a solicitação da tarefa referida, o rádio envia ao *Front End* uma notificação de que há dados para serem lidos e este, por sua vez, inicia uma ação de leitura dos mesmos.

4.3 FRONT END

O *Front End* do sistema é uma interface de comunicação do software do Monitor de Atividade Motora com os sensores, cuja principal função é coletar os dados das medições, como mostra a Figura 5.

Para esta interface, é utilizado o dispositivo BLED112, da Bluegiga, mostrado na Figura 16. Este possui um rádio Bluetooth 4.0 especializado na configuração Bluetooth Low Energy e é conectado ao computador por meio de uma interface USB.

Utilizando o driver nativo *usbser.sys* do sistema operacional Windows, o referido dispositivo se insere na árvore de dispositivos do sistema como uma porta COM virtual. Desta forma, a aplicação do MAM pode se comunicar com o *Front End* por meio da porta COM emulada.

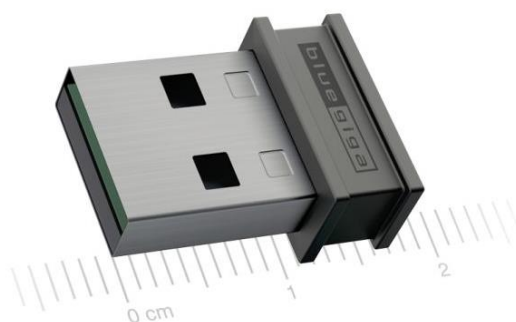


Figura 16 – BLED112, da Bluegiga.

FONTE: Bluegiga Technologies

4.4 SOFTWARE

Como apresentado na Figura 5, integra o sistema do Monitor de Atividade Motora um software para o sistema operacional Windows, cuja interface é mostrada na Figura 17.

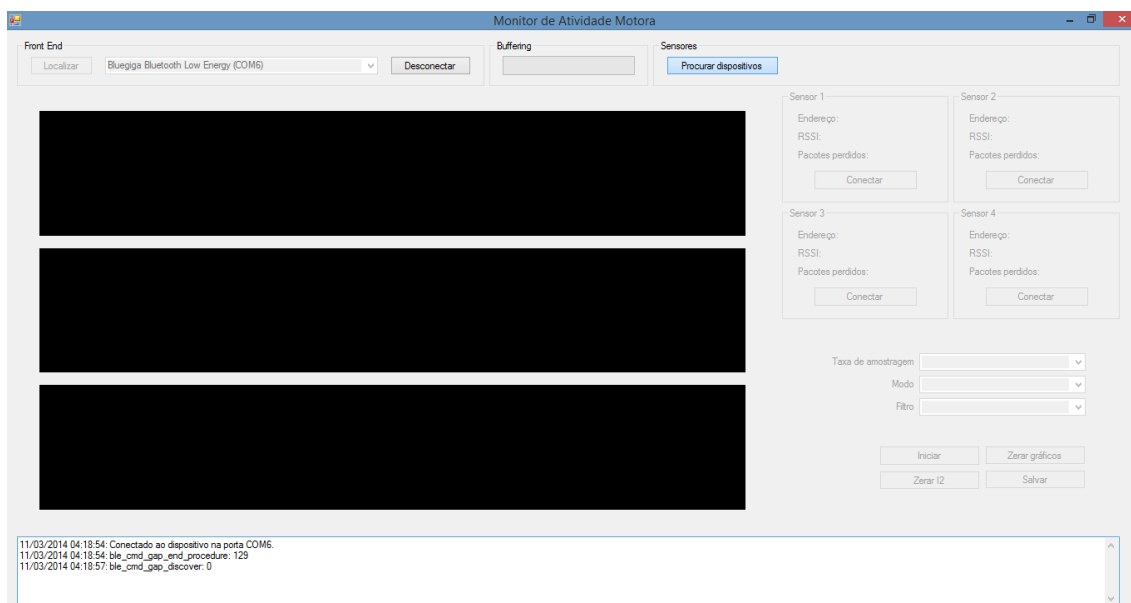


Figura 17 – Tela do software do MAM, após a conexão com o *Front End*.

Por meio desta ferramenta, o usuário pode realizar a conexão com o *Front End* do sistema, habilitar o modo de escaneamento, conectar-se a sensores, configurar o modo de aquisição de dados, iniciar a aquisição e salvar os dados em arquivos. A Figura 19 apresenta uma tela do software em modo de aquisição de dados.

O programa foi desenvolvido utilizando a linguagem C#, da plataforma .NET, da Microsoft. A arquitetura do programa, cuja estrutura simplificada é apresentada na Figura 18, segue o paradigma da orientação a objeto.

A classe principal é a classe MAM (Monitor de Atividade Motora) e possui, dentre os seus principais membros de classe, os objetos *Front End* e interface gráfica do usuário (*Graphic User Interface* - GUI).

A classe *Front End* realiza a interface direta com o dispositivo BLED112. Como descrito em 4.3, este se inscreve na árvore de dispositivos do sistema operacional Windows por meio do driver nativo *usbser.sys*, tornando-se acessível à aplicação do MAM por meio de uma porta COM emulada (Virtual COM). Assim, a troca de mensagens entre o programa e o *Front End* utiliza um protocolo de comunicação serial e é mediada pela classe *Front End*, como mostra a Figura 18.

A compilação das mensagens enviadas ao *Front End* é realizada com o auxílio da biblioteca *ble.dll*, que contém o driver do dispositivo escrito em linguagem não gerenciada C. A interpretação das mensagens recebidas do *Front End*, por sua vez, é feita pelo próprio objeto *Front End*, sem o auxílio da biblioteca referida.

Obsevou-se durante o desenvolvimento do programa problemas referentes ao tamanho do buffer utilizado pelo sistema operacional para armazenar os dados recebidos do *Front End*. À medida em que a taxa de amostragem dos sensores foi elevada a valores próximos da taxa padronizada de 1250 sps, observou-se perdas de dados devido ao transbordamento do buffer de entrada. Por isso, a arquitetura do programa foi concebida de forma a priorizar a leitura dos dados recebidos dos sensores sem, no entanto, comprometer o desempenho dos demais elementos do software. Como mostra a Figura 18, foram criados dois entes distintos para o gerenciamento das mensagens advindas do *Front End*: o elemento *SerialPortListener* e o elemento *Dispatcher*. Ambos são executados em fluxos de programa exclusivos (*threads*), tendo maior prioridade o ente *SerialPortListener*. Assim, otimizou-se a leitura dos dados de entrada, prevenindo problemas de transbordamento de buffer e perda de dados.

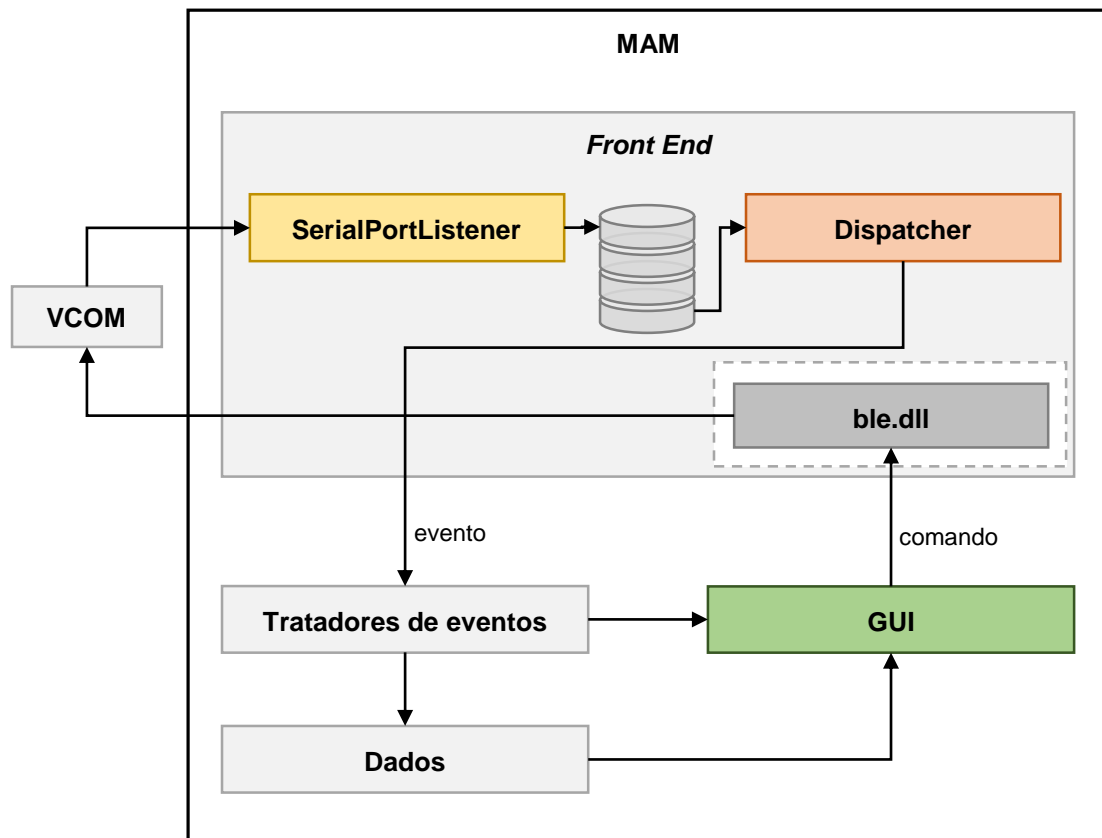


Figura 18 – Estrutura simplificada do software do Monitor de Atividade Motora.

As mensagens lidas do *Front End* são enfileiradas em uma estrutura do tipo FIFO e endereçadas ao *Dispatcher*, que as interpreta e comunica ao objeto MAM a ocorrência de eventos. A classe MAM, por sua vez, traduz os eventos em ações ao usuário e recebe, deste, outras ações que são enviadas ao *Front End*.

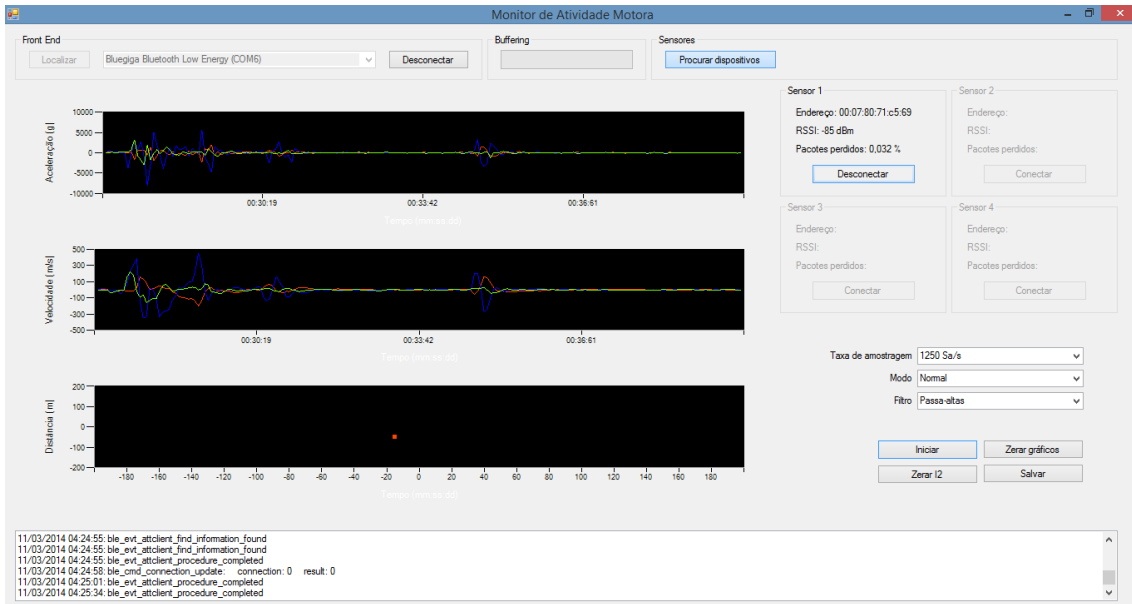


Figura 19 – Aquisição de dados utilizando o software do MAM.

O usuário, a partir do início do programa, deve detectar o dispositivo do *Front End* clicando no botão ‘Localizar’, no canto superior esquerdo da tela – ver Figura 20.

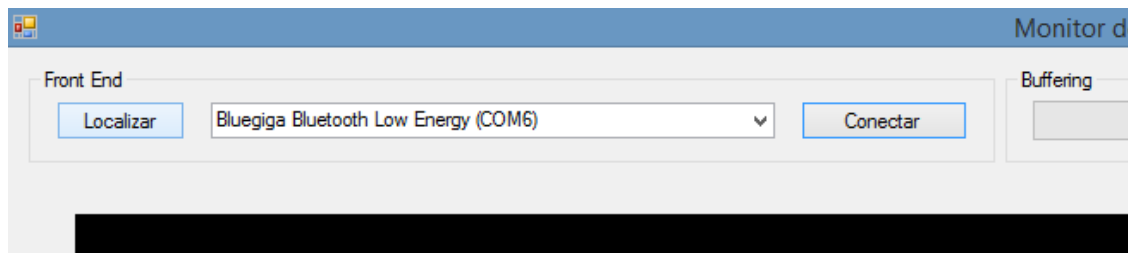


Figura 20 – Detalhe da interface de identificação e conexão com o *Front End*.

Após realizar a conexão com o *Front End*, o usuário pode habilitar o modo de escaneamento dos sensores, clicando no botão ‘Procurar dispositivos’ – ver Figura 21.



Figura 21 – Habilitação do modo de escaneamento dos sensores.

Uma vez que o modo de escaneamento esteja habilitado, a aplicação passa a listar os sensores ligados, como mostra a Figura 22.

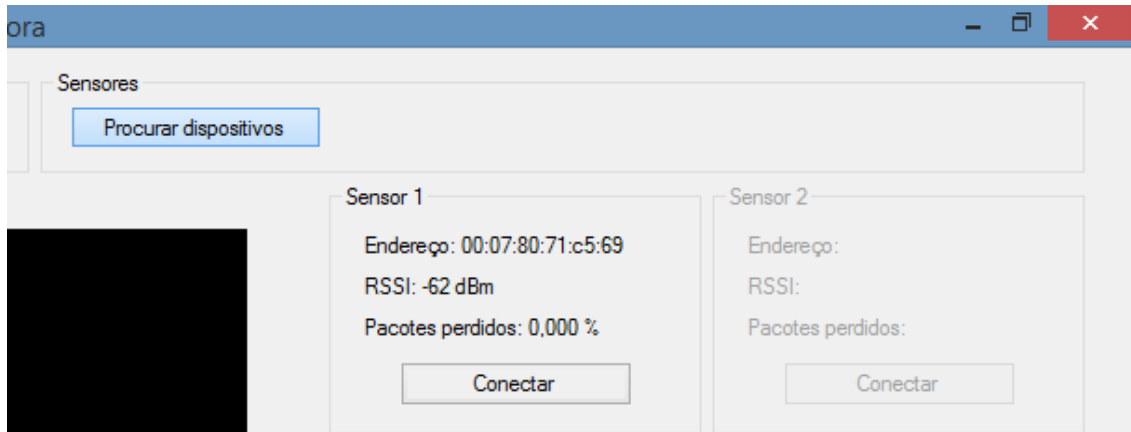


Figura 22 – Listagem dos sensores ligados.

Após a conexão com um sensor ser estabelecida, o programa habilita os controles de aquisição de dados, como apresentado na Figura 23. Por meio destes, o usuário pode, entre outras opções, selecionar filtros, iniciar e paralisar a aquisição e salvar os dados em um arquivo.

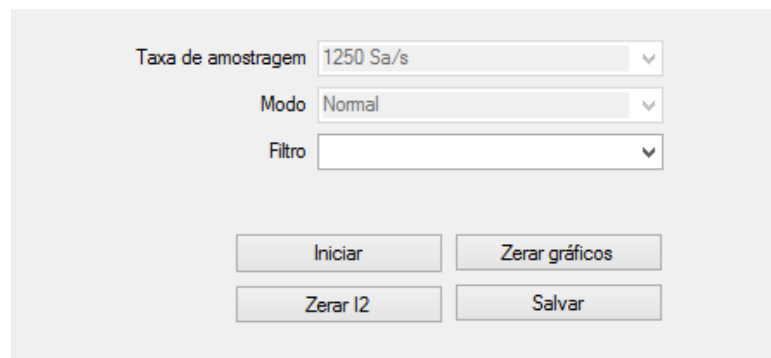


Figura 23 – Interface de controle da aquisição de dados.

Para cada sensor conectado, a aplicação irá produzir três gráficos. O primeiro gráfico (Figura 24) corresponde aos dados recebidos pelos sensores com ou sem a aplicação de um filtro passa-altas, conforme a seleção do usuário. O segundo (Figura 25) e terceiro gráfico (Figura 26) correspondem, respectivamente, à integral segunda e terceira dos dados recebidos. Uma vez que os dados obtidos dos sensores têm dimensão de aceleração, o segundo e terceiro gráficos têm, respectivamente, dimensões de velocidade e posição. A equação (1) apresenta a equação de diferenças utilizada para o cálculo da velocidade, em que $v[n]$ é o valor da velocidade da amostra da n , $a[n]$ é o valor da aceleração da amostra n e Δt é igual a $\frac{1}{1250}$ segundos – o intervalo de tempo entre as amostras.

$$v[n] = \sum (a[n] - a[n - 1]) \times \Delta t \quad (1)$$

A equação (2) apresenta a equação de diferenças utilizada para o cálculo da posição, em que $x[n]$ é o valor da posição da amostra da n , $v[n]$ é o valor da velocidade da amostra n e Δt é igual a $\frac{1}{1250}$ segundos – o intervalo de tempo entre as amostras.

$$x[n] = \sum (v[n] - v[n - 1]) \times \Delta t \quad (2)$$

Os dados de aceleração e velocidade são mostrados nas componentes x, y e z. O terceiro gráfico, por sua vez, é desenhado como um ponto no plano x-y.

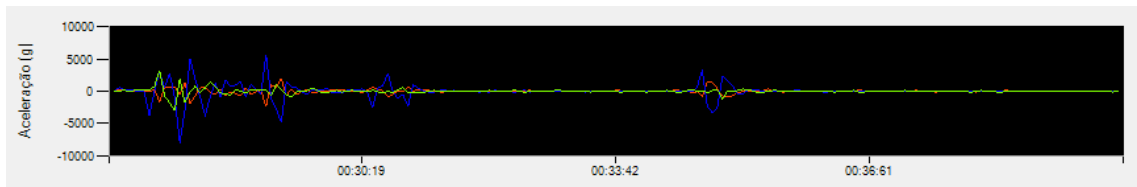


Figura 24 – Gráfico da aceleração do sensor.

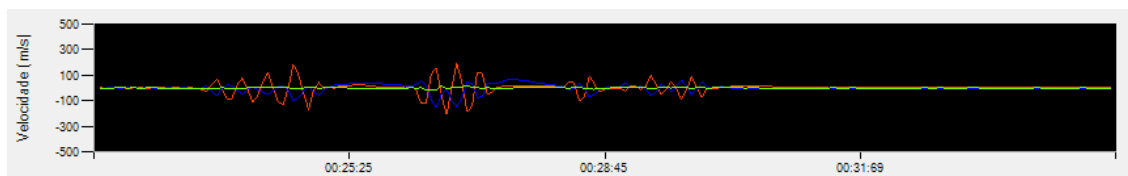


Figura 25 – Gráfico da velocidade do sensor.

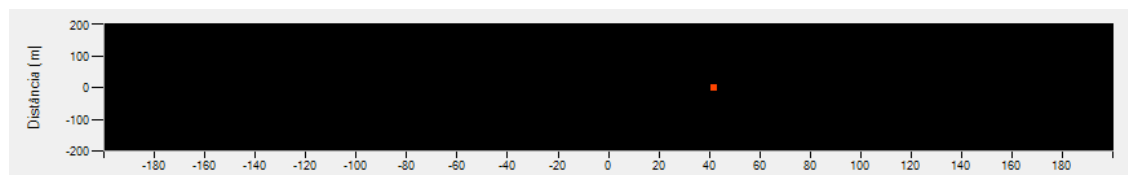


Figura 26 – Gráfico da posição do sensor.

5 RESULTADOS

5.1 ESTUDO DE CASO 1: ELEVADOR

O Monitor de Atividade Motora foi aplicado no estudo da aceleração de um elevador para transporte de pessoas. Um sensor foi colocado sobre o chão da cabine, mantendo o eixo z alinhado com a direção da gravidade.

A Figura 27 mostra o resultado da medição durante a subida. A aceleração atingiu o pico de $0,9 \frac{m}{s^2}$ e o retardamento, $-1,06 \frac{m}{s^2}$.

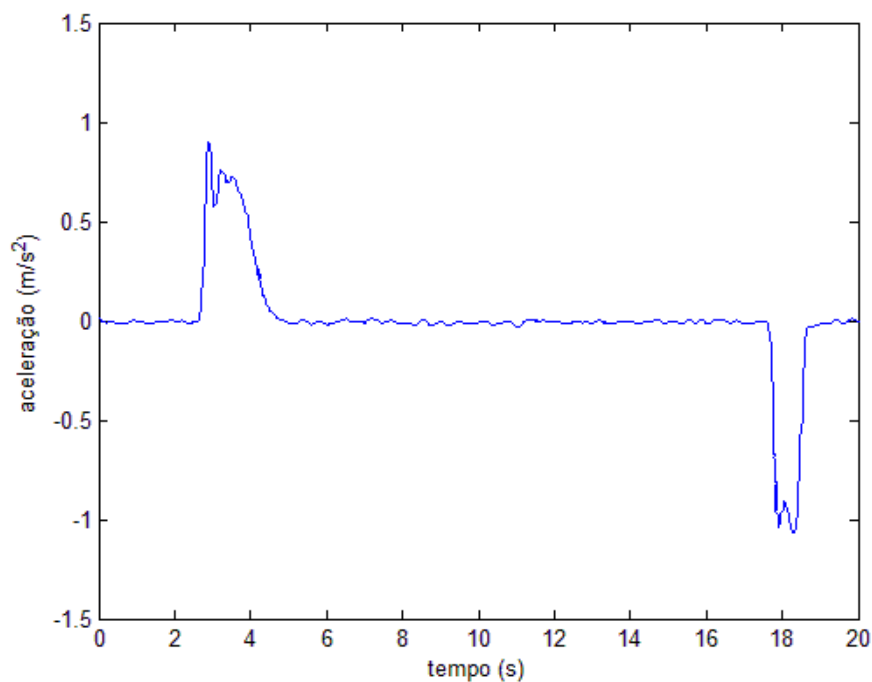


Figura 27 – Gráfico da aceleração do elevador durante a subida.

A Figura 28 mostra a medição durante a descida do elevador. A aceleração atingiu o pico de $-0,46 \frac{m}{s^2}$ e o retardamento, $1,36 \frac{m}{s^2}$.

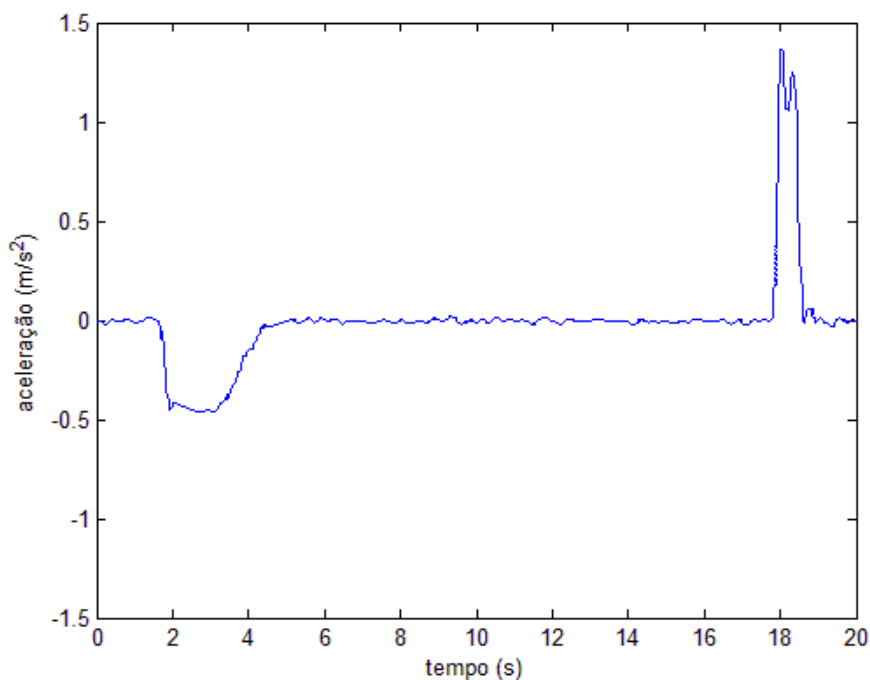


Figura 28 – Gráfico da aceleração do elevador durante a descida.

Observou-se que, embora os valores máximos das acelerações a que o elevador fora submetido durante os movimentos de subida e descida sejam pequenos, a taxa de variação da aceleração a partir do repouso ou de um estado de movimento contínuo, isto é, antes da frenagem, é muito elevada. Este resultado corrobora com a sensação desagradável que o usuário do elevador testado experimenta.

No Brasil, a construção e operação de elevadores para transporte de pessoas deve adequar-se a um conjunto de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O MAM pode, neste campo, ser de grande valia para a avaliação da conformidade de elevadores.

5.2 ESTUDO DE CASO 2: TREMOR HUMANO

Segundo o National Institute of Neurological Disorders and Stroke, as principais manifestações clínicas de tremor humano estão relacionadas à desordem do tremor benigno essencial, à Síndrome de Parkinson, ao distúrbio de distonia, ao tremor cerebelar, tremor psicogênico, tremor ortostático e ao tremor fisiológico, sendo esta última uma forma não patológica. A sua intensidade é influenciada por fatores como taxa de glicemia, exaustão física, hipertireoidismo, contaminação por metais pesados, estimulantes, álcool, cafeína e febre (LOUIS, 2005).

O Monitor de Atividade Motora foi aplicado à medição do tremor fisiológico em um paciente que não fora diagnosticado com quaisquer formas patológicas de tremor, durante um

dia, em horários distintos. O protocolo de realização do teste consistiu em segurar o sensor descrito em 4.2 com a mão, mantendo-o na horizontal por um período aproximado de 20 segundos. A Figura 29 mostra o resultado das medições realizadas às 7 horas, 15 horas e 22 horas. Observou-se que a intensidade do tremor medido às 7 horas é mínima. Todavia, tremores de intensidade não ordinária foram observados nas medições subsequentes. Acredita-se que o aumento de intensidade esteja relacionado à exaustão física do organismo do paciente.

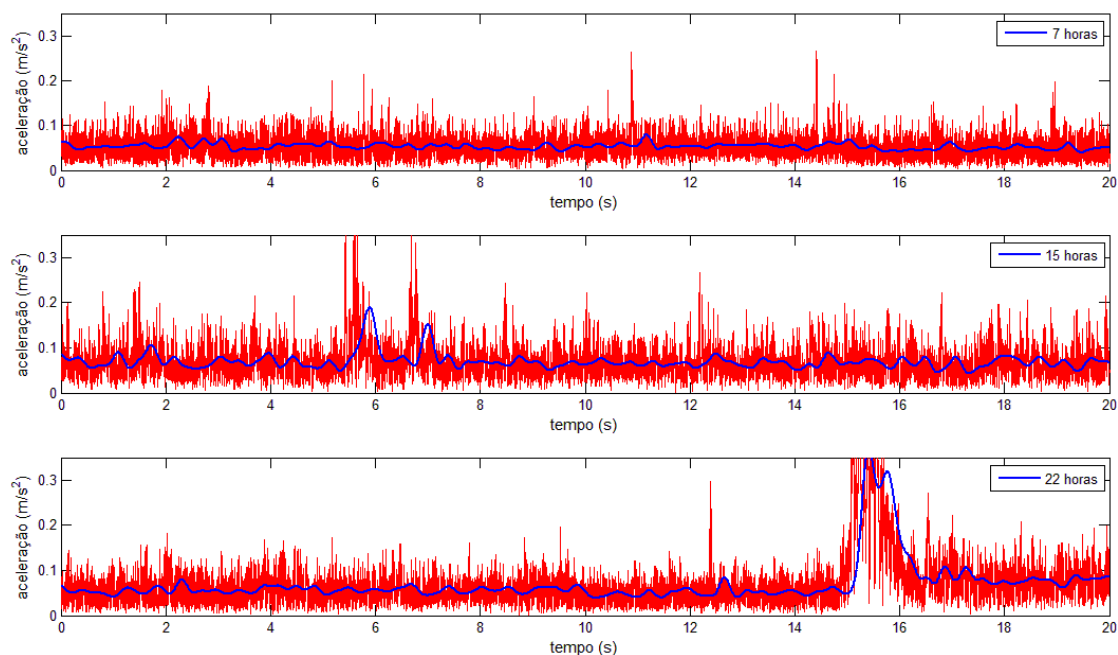


Figura 29 – Medição do tremor das mãos.

O Monitor de Atividade Motora pode ainda ser aplicado ao estudo de outras formas de tremor humano.

5.3 ESTUDO DE CASO 3: FURADEIRA

No âmbito das doenças ocupacionais, as Lesões por Esforços Repetitivos (LER) estão entre as causas mais frequentes de incapacitação de trabalhadores. A operação de ferramentas de impacto é, em especial, uma atividade que oferece alto risco ergonômico. Faz-se necessário, portanto, a condução de avaliações de risco à saúde dos trabalhadores que desempenham funções tais como esta.

Nesse sentido, propôs-se a utilização do Monitor de Atividade Motora para realizar a medição da aceleração imposta ao corpo de um operador por uma furadeira. O ensaio consistiu em realizar a furação de um bloco de concreto, estando a ferramenta configurada para o modo de furação martelo. A furadeira foi mantida na posição vertical e contraposta ao bloco a ser perfurado pelos dois braços do operador.

A Figura 30 mostra o gráfico da aceleração transmitida pela ferramenta ao corpo do operador.

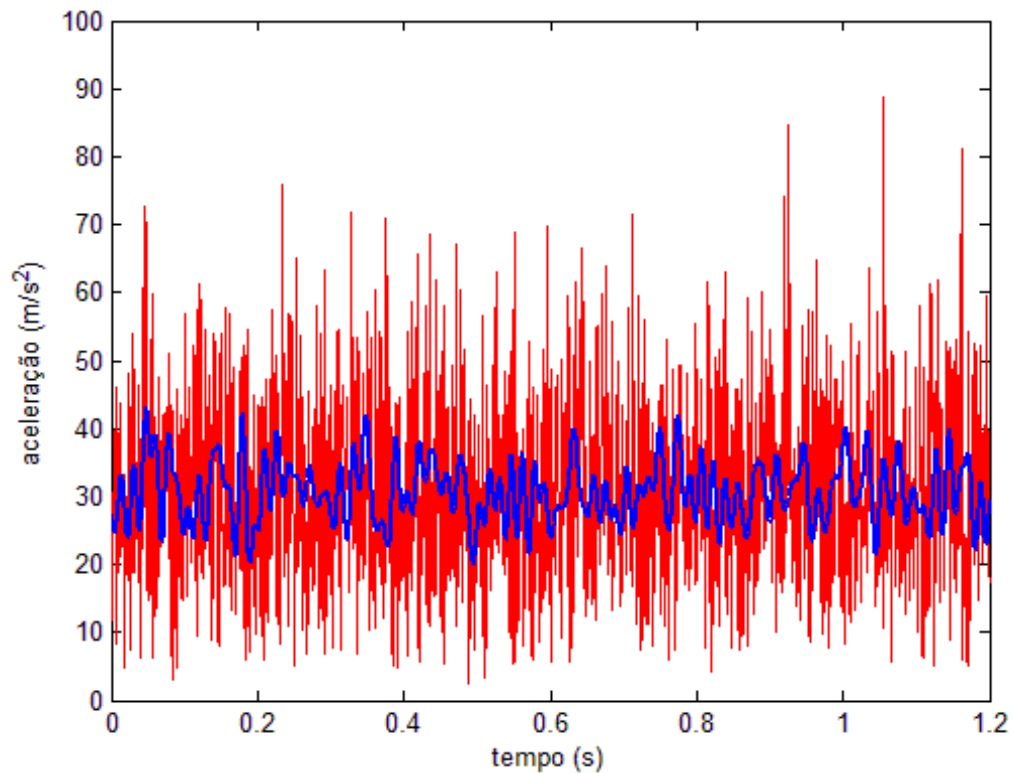


Figura 30 – Gráfico da aceleração imposta por uma ferramenta de furação ao corpo do operador durante a furação de um bloco de concreto.

A aceleração média aferida foi de aproximadamente $32 \frac{m}{s^2}$. Embora este valor represente apenas uma pequena fração da aceleração imposta por outras ferramentas de impacto, tais como britadeiras, pode ser considerado alto.

Este resultado demonstra a legitimidade das ciências de assistência à saúde dos trabalhadores envolvidos em funções que ocasionem estresse físico em decorrência da operação de ferramentas de alto impacto.

6 RELATÓRIO DE GESTÃO

6.1 CRONOGRAMA

A Tabela 3 apresenta o cronograma planejado de execução do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e a Tabela 4, o cronograma executado.

Tabela 3 – Cronograma planejado de execução do Trabalho de Conclusão de Curso.

	Descrição da atividade	ANO 2012		ANO 2013												
		NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET				
1	Estudos preliminares															
2	Análise de componentes															
3	Projeto de hardware	■	■													
4	Layout da PCB	■	■													
5	Compra de materiais		■	■												
6	Fabricação da PCB		■	■												
7	Montagem da PCBA				■	■	■									
8	Testes de hardware				■	■	■									
9	Desenvolvimento de firmware						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	Desenvolvimento de software						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11	Estudos de caso									■	■	■	■	■	■	■
12	Redação do relatório													■	■	■

Tabela 4 – Cronograma executado do Trabalho de Conclusão de Curso.

	Descrição da atividade	ANO 2013				ANO 2014		
		SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1	Estudos preliminares	■	■	■	■			
2	Análise de componentes			■	■			
3	Projeto de hardware				■	■	■	
4	Layout da PCB					■	■	
5	Compra de materiais					■		
6	Fabricação da PCB					■		
7	Montagem da PCBA						■	
8	Testes de hardware						■	■
9	Desenvolvimento de firmware							■
10	Desenvolvimento de software							■
11	Estudos de caso							■
12	Redação do relatório							■

Da análise dos cronogramas, infere-se que o início da execução do trabalho sofreu um grande atraso. Por esse motivo, foi necessário diminuir os prazos das atividades.

6.2 RISCOS

6.2.1 Identificação e elaboração de planos de contenção de riscos

Antes do início da execução do projeto, buscou-se identificar os riscos em potencial e planejar soluções para os mesmos. A Tabela 5 lista os riscos identificados e os respectivos planos de contingência desenvolvidos.

Tabela 5 – Análise de riscos e planos de contingência.

	Risco	Plano de contingência
1	Restrições à importação de componentes.	Modificação do projeto para substituir o componente com restrições.
2	Mau funcionamento do rádio.	Replanejamento do cronograma para incluir uma etapa de depuração do sistema de rádio. Em último caso, substituição do componente.
3	Baixa performance do sistema de rádio.	Revisão de requisitos do projeto com o intuito de adequá-lo às características de performance observadas. Em último caso, substituição do componente.
4	Baixa qualidade dos dados fornecidos pelo acelerômetro.	Substituição do componente.
5	Danificação de protótipos durante o desenvolvimento.	Fabricação de protótipos de reserva.

6.2.2 Ocorrência e contenção de riscos

Houve restrições à importação de fluxo e pasta de solda para componentes do tipo SMD. Foi necessário, então, utilizar insumos de montagem de qualidade inferior comercializados localmente. A pasta de solda foi substituída por fio de solda com concentração de chumbo alta, o que acarretou em aumento da temperatura de soldagem dos componentes eletrônicos e maior estresse aos mesmos. Não foi observado, todavia, degradação das suas funcionalidades.

O desempenho do sistema de rádio apresentou baixo desempenho em relação à capacidade de processamento. Por isso, foi necessário modificar a camada proprietária do firmware do módulo de rádio com o intuito de otimizar o seu desempenho. Em relação à capacidade de transmissão de dados entre os nós da rede Bluetooth, observou-se que, a altas taxas de transmissão, é necessário garantir visão aberta entre o nó transmissor e o receptor. Essa condição impôs restrições ao uso do sistema.

Ainda, o desenvolvimento do software exigiu tempo superior ao previsto devido a problemas com o driver do dispositivo *Front End* para o sistema operacional Windows. O problema foi contornado por meio de uma solução de software mais elaborada.

6.3 ORÇAMENTO

A Tabela 6 apresenta a relação dos custos estimados para a fabricação de um sensor, no início do projeto. A Tabela 7 apresenta a relação dos custos totais estimados para o projeto, incluindo a fabricação de 10 protótipos dos sensores, a montagem dos componentes por terceiros e a compra da interface Bluetooth para o computador (BLED112).

Tabela 6 – Custo estimado para a fabricação da placa de um sensor.

Módulo de rádio Bluetooth	US\$ 20,00
PCB	R\$ 60,00
Outros componentes	US\$ 7,00
TOTAL	R\$ 135,00

Tabela 7 – Custo total estimado para o projeto.

10 sensores	R\$ 1.350,00
Montagem dos componentes QFN	R\$ 500,00
BLED112	US\$ 25,00
TOTAL	R\$ 1920,00

A Tabela 8 apresenta o custo real para a fabricação de um sensor. Observa-se que, embora o custo de fabricação da PCB tenha sido inferior ao planejado, os custos dos componentes ficaram acima da projeção devido à incidência dos impostos de importação e ICMS que não foram contabilizados, com alíquotas de 60% e 19% respectivamente. A Tabela 9 mostra a soma dos custos do projeto. A montagem dos componentes dos protótipos dos sensores foi realizada pela próprio aluno, não sendo necessário, portanto, o pagamento a uma empresa pelo serviço.

Tabela 8 – Custo efetivo para a fabricação de um sensor.

Módulo de rádio Bluetooth	US\$ 25,00
PCB	R\$ 30,80
Outros componentes	US\$ 48,00
TOTAL	R\$ 227,90

Tabela 9 – Custo total do projeto.

6 sensores	R\$ 1.367,40
Montagem dos componentes QFN	R\$ 0,00
Interface CC Debugger	US\$ 90,00
BLED112	US\$ 47,00
Frete	US\$ 144,00
TOTAL	R\$ 2.126,10

7 PLANO DE NEGÓCIO

7.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

Este Plano de Negócio propõe a criação de uma empresa com o objetivo de desenvolver e comercializar um produto denominado Monitor de Atividade Motora, que consiste em um dispositivo eletrônico composto por vários sensores que enviam informações sobre o movimento do usuário a um celular, tablet ou computador. As principais características do aparelho são a portabilidade, as análises gráficas de alta qualidade e o custo competitivo. Não há atualmente um produto similar no mercado.

Os clientes em potencial do produto são médicos, fisioterapeutas, esportistas profissionais e não profissionais e treinadores.

O primeiro ano da empresa contempla o desenvolvimento do produto, com início da produção a partir segundo ano. O investimento inicial é de R\$ 72.025,54, que devem ser aportados pelos proprietários.

As taxas de crescimento elevado dos mercados de equipamentos médicos e de tecnologias para o esporte fazem deste Plano de Negócio uma oportunidade promissora.

7.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

7.2.1 Visão

Amparar o cuidado com o corpo humano por meio de soluções tecnológicas.

7.2.2 Missão

Fornecer soluções tecnológicas inovadoras para problemas relacionados às áreas da saúde e comportamento humanos.

7.2.3 Valores

Pioneirismo, qualidade e resultados.

7.3 OBJETIVOS

7.3.1 Objetivo Principal

Por meio deste Plano de Negócio propõe-se o desenvolvimento de um equipamento para as áreas médica e esportiva denominado Monitor de Atividade Motora. O prazo estabelecido para a conclusão do desenvolvimento e criação das estruturas de fabricação, logística e comercialização é de dois anos.

Deseja-se ainda, após o início das vendas, fomentar o uso e as pesquisas relacionados ao Monitor de Atividade Motora por meio de *workshops*.

A segunda geração do produto deve estar disponível após dois anos do início da comercialização da primeira geração.

7.4 PRODUTOS E SERVIÇOS

7.4.1 Descrição dos Produtos e Serviços

O produto apresentado é um dispositivo denominado Monitor de Atividade Motora. É composto por um conjunto de sensores sem fio – mostrados na Figura 31 – que enviam dados a um programa de computador, celular ou tablet.



Figura 31 – Detalhe de um sensor do Monitor de Atividade Motora.

A partir dos dados obtidos via telemetria, o programa apresenta ao usuário uma caracterização minuciosa e completa do movimento monitorado em tempo real, sob a forma de gráficos em alta resolução, a exemplo do que mostra a Figura 32.

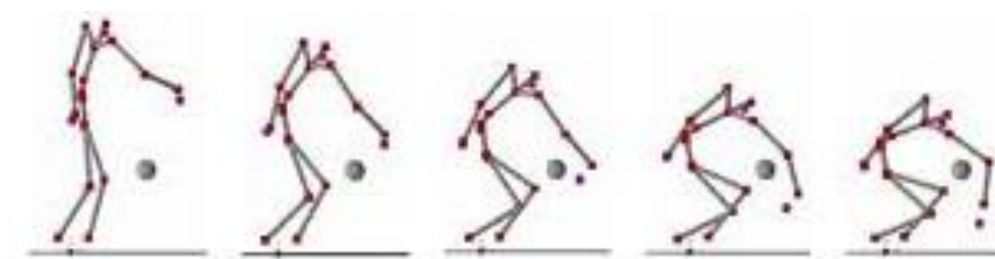


Figura 32 – Reconstrução do movimento de uma pessoa a partir dos dados dos sensores.

Os sensores possuem massa de apenas 50 g e são, portanto, muito leves. Por meio das fibras de elastano, os mesmos podem ser fixados em diversas áreas do corpo humano sem interferir na movimentação do usuário e, ainda, sendo capazes de resistir e avaliar com precisão movimentos de alta aceleração.

O programa pode ser parametrizado para operar com um número variável de sensores e apresentar os dados por meio de gráficos específicos de cada área de aplicação, tal como reabilitação fisioterápica ou esporte de alto rendimento.

O Monitor de Atividade Motora será comercializado em três versões. A versão básica do produto permite ao usuário utilizar os modos mais simples de visualização dos dados. Uma aplicação possível seria, por exemplo, estudar o impacto a que estão submetidas as articulações de um atleta de ginástica olímpica durante a realização de um movimento com saltos, como mostra a Figura 33.

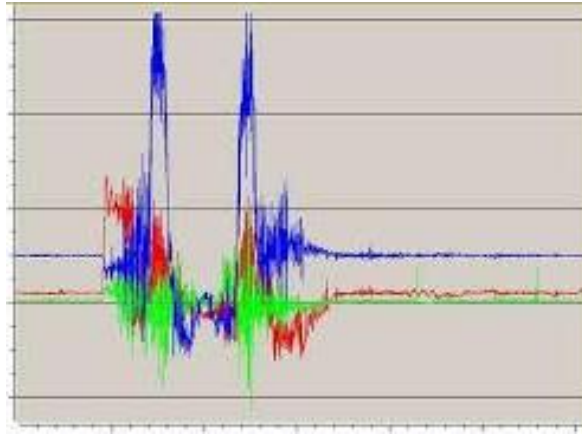


Figura 33 – Gráfico de aceleração ao longo do tempo.

A versão especializada na área de reabilitação médica deve permitir a médicos e fisioterapeutas a avaliação computadorizada da performance motora de pacientes durante a atividade física. Um dos modos de análise desta versão é apresentado na Figura 34.

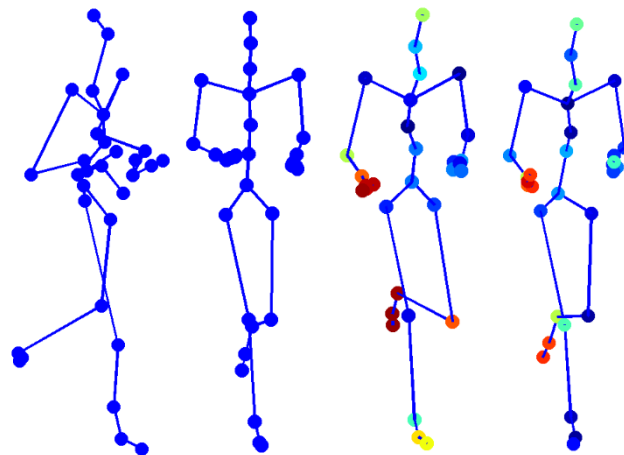


Figura 34 – Análise motora durante uma corrida.

Por meio de outros recursos que também devem integrar esta versão, será possível a utilização do Monitor de Atividade Motora em conjunto com técnicas de reabilitação denominadas Biofeedback, a exemplo do que mostra a Figura 35.



Figura 35 – Técnica Biofeedback de reabilitação.

FONTE: Disponível em:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Images_from_US_Navy_location_Charleston,_S.C.>

Ainda, outra versão do produto é destinada a prestar suporte à prática e ao estudo avançado de esportes de alto rendimento. Por meio de gráficos especializados, treinadores e atletas poderão estudar movimentos e testar os limites do corpo. Como exemplificado na Figura 36, a complexidade dos movimentos da ginástica justifica a adoção de tecnologias para auxiliar o treinamento e o estudo da técnica esportiva.



Figura 36 – Movimento de uma ginasta durante a prática esportiva.

FONTE: Disponível em: <<http://www.seniorsat5280.com/blog/2011/05/some-big-gymnastics-things-to-come/>>

7.4.2 Análise Comparativa

Há atualmente no mercado outros dispositivos com algumas características similares ao produto idealizado neste Plano de Negócio. São comumente denominados Monitores de

Atividade Física e, em sua maioria, têm como foco desportistas ou pesquisas acadêmicas. Faz-se, a seguir, uma breve análise comparativa com os produtos concorrentes.

O RT3 – ver Figura 37 – é um aparelho desenvolvido pela University College London para monitorar a atividade metabólica em crianças. O dispositivo é fixado à região pélvica por meio de uma cinta elástica e permite estimar o gasto calórico durante o dia, relacionado-o com os movimentos do indivíduo monitorado. Não oferece conectividade em tempo real. Não há informações sobre disponibilidade e preço do dispositivo no mercado.



Figura 37 – Monitor de Atividade RT3.
FONTE: GODFREY, 2008.

Um outro produto, o activPAL, da empresa PAL Technologies, permite monitorar o nível de sedentarismo. O sensor deve ser fixado sobre a roupa do paciente. Ao final do teste, ocorre o download de informações sobre o estado de repouso do corpo ao logno do monitoramento, como mostra a Figura 39.



Figura 38 – Monitor de Atividade activPAL.
FONTE: GODFREY, 2008.

A venda do produto é feita diretamente pela empresa e não há informações públicas sobre o seu preço.

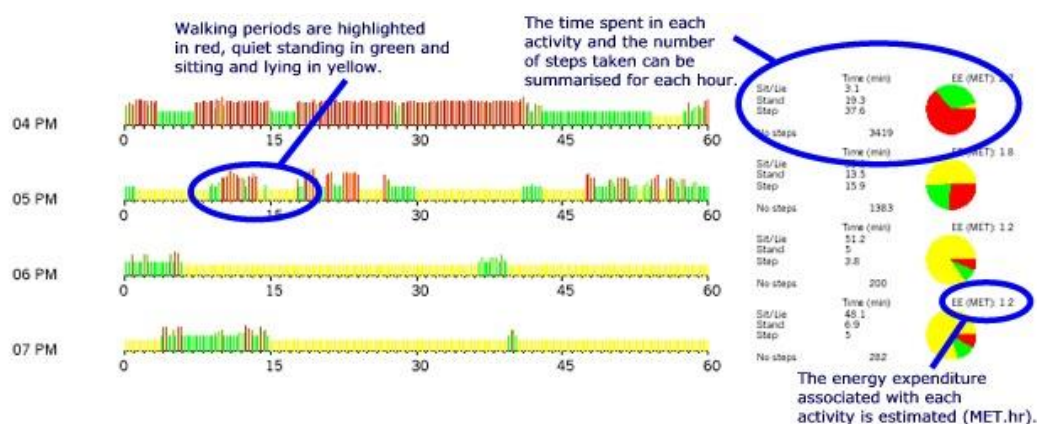


Figura 39 – Dados obtidos por meio do activPAL.

FONTE: PAL Technologies Ltda.

O dispositivo AMP 331, da empresa Dynastream, possui a habilidade de medir a aceleração em dois eixos e fornece, a partir destes dados, informações de distância e velocidade ao longo de uma corrida. O sensor deve ser colocado no calcanhar, como mostra a Figura 40. Não há disponibilidade do produto atualmente.



Figura 40 – Monitor de Atividade AMP 331, da Dynastream Innovations Inc.

FONTE: GODFREY, 2008.

A Össur Americas, uma empresa especializada em próteses para seres humanos, fabrica e comercializa o monitor para implantados PAM, apresentado na Figura 41. Por meio de tecnologia proprietária, o dispositivo permite monitorar a intensidade da atividade motora em membros amputados.



Figura 41 – Monitor de Atividade Protética, da Össur Americas.
FONTE: GODFREY, 2008.

Ao analisar os monitores de atividade física disponíveis no mercado, vê-se que não há uma solução que incorpore em um único produto tecnologias que permitam o monitoramento amplo da performance motora do usuário. Há apenas dispositivos com funcionalidades específicas, tais como contagem de passos ou cálculo de distâncias percorridas. Um monitor composto por diversos sensores e que ofereça ampla quantidade de informações ao usuário seria um produto inovador.

De fato, as tecnologias que permitiram a miniaturização de dispositivos portáteis comuns, tais como celulares e tablets, são muito recentes. E ainda, outras tecnologias de sensoriamento adequadas ao desenvolvimento de aparelhos para o segmento em questão, tal como a acelerometria MEMS, são mais recentes ainda.

Nesse sentido, fica claro que há no momento uma lacuna no mercado que pode ser seguramente preenchida por um produto que agregue funcionalidades poderosas e que se apresente de forma totalmente prática ao usuário. É esse segmento que se pretende, por meio deste Plano de Negócio, conquistar.

7.4.3 Tecnologia

O Monitor de Atividade Motora utiliza as mais recentes tecnologias do mercado relacionadas às áreas de medição de movimentos e comunicação sem-fio.

Os dispositivos empregados nos sensores do MAM são baseados em uma tecnologia de última geração denominada Microelectromechanicals systems (MEMs), que basicamente

consiste na integração de microdispositivos eletromecânicos em chips de silício. Especificamente, são utilizados MEMs capazes de medir aceleração por meio de microsensores piezoelétricos. O circuito integrado, de apenas 3 mm de largura, é mostrado na Figura 13.

Ainda, utiliza-se a promissora tecnologia Bluetooth 4.0 Low Power para a comunicação sem-fio dos sensores. Por apresentar consumo de energia muito abaixo de qualquer outra tecnologia no mercado, permite o funcionamento do dispositivo por um período de meses com apenas uma pequena bateria, além de possibilitar a utilização de microbaterias integradas à placa de circuito impresso em uma nova geração de sensores.

7.4.4 Produtos e Serviços Futuros

Um dos objetivos de evolução do produto é a redução do seu tamanho. Universidades e indústrias de equipamentos ao redor mundo têm apresentado expressivos avanços no desenvolvimento de tecnologias que permitam o monitoramento remoto da condição clínica de pacientes. Entre as evoluções mais notórias, destaca-se os ganhos em miniaturização de sensores e os ganhos em funcionalidades até então inviáveis para pequenos dispositivos. A Figura 42 apresenta um projeto conceito de um sensor de EEG apresentado pela empresa de tecnologia MC10, dos Estados Unidos. O protótipo não-funcional expressa bem a tendência para os próximos anos em relação ao formato de sensores para monitores de funções biológicas.

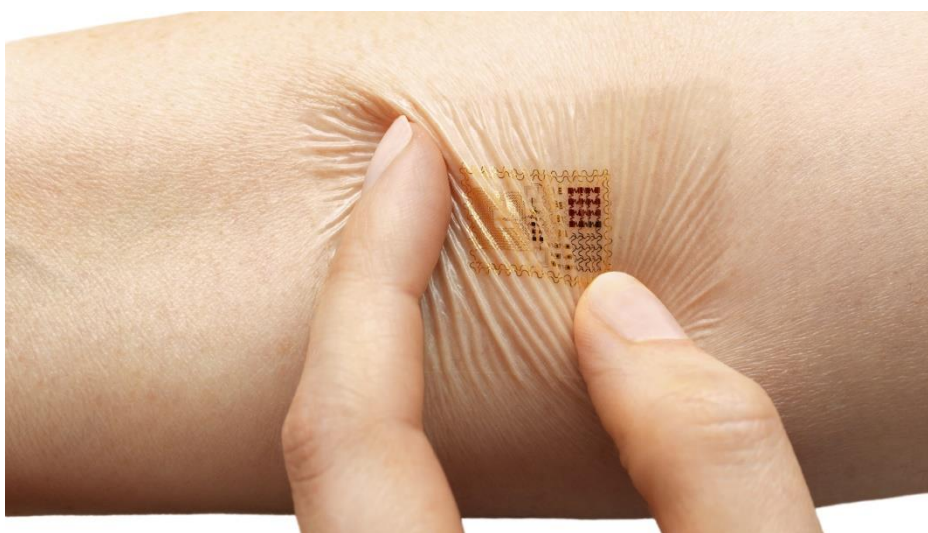


Figura 42 – Conceito de sensor de EEG.
FONTE: MC10 Inc.

Nesse sentido, busca-se também para o produto em questão uma evolução quanto ao seu formato. Graças a tecnologias consolidadas da área de placas de circuito impresso flexíveis, espera-se desenvolver a próxima geração de sensores do produto neste formato.

Além de promover a miniaturização do mesmo, pode-se dessa forma construir sensores que, assim como adesivos curativos, possam facilmente aderir a qualquer parte do corpo. A Figura 43 ilustra o conceito para a nova geração de sensores do Monitor de Atividade Motora.



Figura 43 – Conceito para a nova geração de sensores do Monitor de Atividade Motora.

7.5 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA

O mercado para o MAM são dois: o de equipamentos médico-hospitalares e o de equipamentos esportivos.

O mercado de equipamentos médico-hospitalares engloba os segmentos de diagnóstico, terapêutica, infra-estrutura hospitalar e insumos. Uma vez que o MAM é um aparelho projetado para auxiliar avaliações clínicas e processos de reabilitação, os segmentos de mercado almejados na área médico-hospitalar são os de diagnóstico e terapêutica. Segundo a Agência de Análise de Mercado Episcom, o setor de equipamentos médico-hospitalares movimentou, apenas em 2012, 307,7 bilhões de dólares em todo o mundo. Impulsionado pelos constantes esforços de governos e instituições privadas para a ampliação do acesso à saúde e pela melhora da sua qualidade, aliado aos cada vez mais expressivos avanços tecnológicos da área, o mercado de equipamentos médicos deve atingir o patamar de 348,6 bilhões de dólares em 2016. China, União Européia e Reino Unido devem aumentar seus investimentos no setor em até quarenta por cento ao longo da próxima década. A Figura 44 mostra o mercado projetado para 2016, separado por continentes.

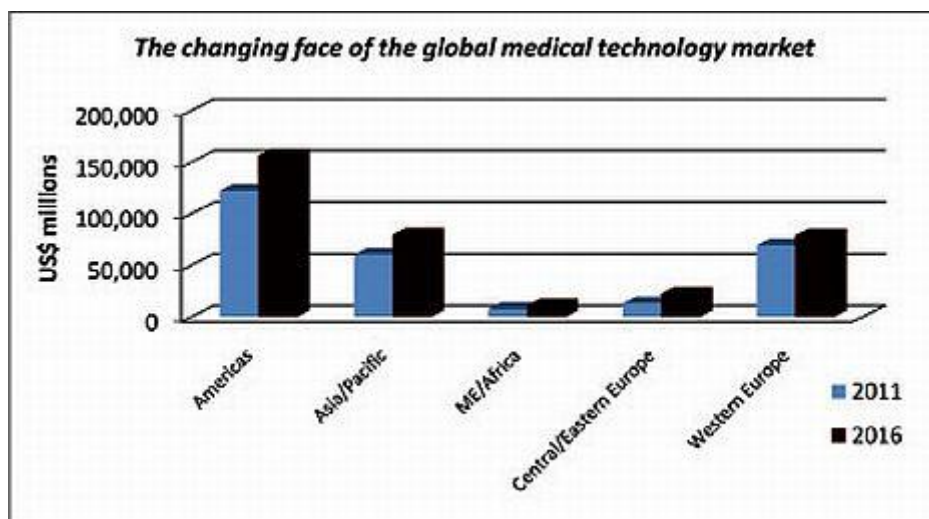


Figura 44 - Movimentação do mercado de equipamentos e suprimentos médicos.
 FONTE: Espicom, 2013.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alta Tecnologia de Equipamentos, Produtos e Suprimentos Médico-Hospitalares (Abimed), o setor faturou 16,5 bilhões de dólares em 2012 no Brasil, com um crescimento de 4,12% em relação a 2011. Representa, portanto, uma fatia de 0,6% do PIB nacional. O crescimento esperado para os próximos anos é em torno de 10%. Os números demonstram, portanto, a capacidade de retorno para novos investimento no setor.

Avanços tecnológicos na área de eletrônica relacionados à miniaturização, redução de consumo de energia elétrica e aumento da capacidade de processamento permitiram ao mercado de eletrônicos portáteis uma grande evolução. Um exemplo desse fenômeno é o smartphone, que passou a incorporar funções até então restritas a notebooks e desktops. O segmento de equipamentos médicos, por sua vez, dedicou esforços para o desenvolvimento de soluções tecnológicas com foco também na portabilidade, baixa complexidade e baixo custo. Desse intento surgiu, por exemplo, um mercado de equipamentos especializado no monitoramento à distância de pacientes de risco, o Home HealthCare, que deverá crescer à taxa anual de 19% até 2016, segundo a agência de pesquisa de mercado Research&Markets.

Dentro deste segmento de mercado de equipamentos médico-hospitalares portáteis com vistas ao auxílio das técnicas de diagnóstico e terapêutica, há uma ausência de produtos de qualidade capazes de promover o monitoramento motor de pacientes, remoto ou assistido. A integração em chips de silício das tecnologias de sensoriamento necessárias ao desenvolvimento de produtos na área, citadamente de acelerometria, são muito recentes. Assim, a grande maioria dos produtos encontra-se em fase de desenvolvimento. Vê-se portanto neste segmento um mercado de grande potencial a ser explorado.

Ainda, o Monitor de Atividade Motora foi concebido como uma poderosa solução para auxiliar desportistas a vislumbrar com clareza detalhes da sua performance durante a prática esportiva e, além disso, como uma ferramenta para que atletas e seus treinadores possam explorar os limites do corpo humano por meio do estudo avançado de técnicas esportivas. Portanto, espera-se não apenas atuar no mercado de equipamentos médico-hospitalares mas também no promissor mercado de tecnologias para o esporte.

A revolução da tecnologia nos esportes começou com a adoção em massa de programas de computador para a análise minuciosa dos movimentos dos jogadores nos jogos transmitidos pela televisão. Em algum momento, tornou-se imperativo que o telespectador fosse convencido de que as decisões da arbitragem estavam corretas, fazendo-se para tanto uso de imagens misturadas a gráficos criados pelo computador. Hoje, não somente importam tecnologias de realidade aumentada, como são chamadas, mas observa-se também a crescente incorporação de soluções viabilizadas pelo aumento da capacidade da eletrônica embarcada. Por exemplo, os jogadores de Rugby do campeonato europeu passaram recentemente a utilizar tags RFID para fornecer em tempo real informações detalhadas sobre sua posição. Deste fato decorreu, ainda, o desenvolvimento de um formato de transmissão dos jogos de Rugby em 3D para a rede ESPN que utilizasse a informação dos mesmos sensores.

O mundo dos esportes está repleto de profícuos casos de adoção crescente de tecnologia, tais como os campeonatos NASCAR e FIFA. Diversas empresas do segmento têm dedicado esforços com o intuito de levar também aos praticantes do esporte não profissional a experiência de monitorar seus treinamentos por meio de tecnologias embarcadas de baixo custo. Esse mercado repleto de oportunidades e de crescimento contundente é dito um dos três maiores mercados globais, chegando à marca de 200 bilhões de dólares anuais.

E analogamente ao que acontece no mercado de equipamentos médico-hospitalares, inexitem no mercado de tecnologias para os esportes soluções de qualidade, alta capacidade e baixo custo para o monitoramento da atividade motora. Assim, o MAM idealizado neste Plano de Negócio encontra um caminho fértil e promissor no mercado de esportes.

7.6 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR (MERCADO, CLIENTE E APLICAÇÃO)

O produto idealizado neste Plano de Negócio é um Monitor de Atividade Motora, que consiste em um dispositivo eletrônico que fornece, por meio de sensores instalados em um paciente ou um esportista, análises gráficas em tempo real do movimento do corpo com o intuito de auxiliar o diagnóstico e a reabilitação de problemas de saúde, bem como possibilitar

o estudo avançado de técnicas esportivas. As características fundamentais do produto são a portabilidade, o custo competitivo e a qualidade das análises oferecidas ao usuário pelo aparelho.

Conforme dicorreu-se no item item 7.5 deste Plano de Negócio, o mercado alvo para o produto são o de equipamentos médico-hospitalares e o de tecnologias para o esporte.

No mercado de equipamentos médico-hospitalares, os clientes alvo são as pessoas responsáveis pela compra de equipamentos médicos para unidades de saúde com ênfase na área de ortopedia e fisioterapia. Projeta-se que quase a totalidade dos clientes sejam fisioterapeutas. Daí concluir que o público alvo deste segmento é formado por pessoas com alto grau de escolaridade e grande capacidade de atualização. Uma pesquisa realizada junto a uma empresa paranaense que desenvolve, fabrica e vende equipamentos médicos revelou que os clientes desta empresa possuem perfil conservador em relação a novos investimentos, ressaltando neste contexto a importância de uma estratégia de marketing bem elaborada. A relevância de um produto como o MAM no segmento de mercado em questão se dá pela inexistência de tecnologias capazes de fornecer informações detalhadas em tempo real sobre a capacidade motora de um paciente e de forma suficientemente descomplicada ao ponto de o diagnóstico auxiliado por tecnologias tais como esta ser generalizado. Ainda, o MAM vem ao encontro de uma necessidade tecnológica emergente da área devido à evolução e popularização de técnicas de reabilitação motora baseadas no método de Biofeedback.

No mercado de tecnologias para o esporte, os clientes alvo são esportistas amadores que invistam em aparelhos para monitorar sua performance, bem como atletas e treinadores que utilizem recursos tecnológicos para o estudo e aprimoramento de técnicas esportivas, com ênfase para os esportes de alto rendimento. Este segmento de mercado é projetado como sendo de alto volume, sobretudo no que se refere aos praticantes esporte amador. Assim como ocorre no mercado de equipamentos médicos, não há produtos super portáteis no mercado esportivo que forneçam informações de alta qualidade e em tempo real sobre a performance motora. Por isso, acredita-se que a crescente demanda do setor aliada a uma estratégia de preços com foco na competitividade possam fazer o MAM liderar as vendas no seu segmento.

7.7 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO – RESUMO

7.7.1 Diferenciais Competitivos

Os diferenciais competitivos do Monitor de Atividade Motora são o seu formato, funcionalidades e custo competitivo.

7.7.2 Estratégia de Marketing

7.7.2.1 Estratégia de Preços

Embora o MAM seja um produto de alto valor agregado, ambos os segmentos de mercado almejados são sensíveis ao preço. Por isso, uma das diretrizes do negócio é a redução de custos para possibilitar a maior queda possível no preço final. Ainda, durante a introdução do MAM no mercado, o preço praticado deverá ser tão menor quanto permitir o caixa da empresa, com o intuito de promover o produto.

Não há produtos similares ao MAM no mercado atualmente, por isso o preço deverá ser estabelecido com base em outros produtos dirigidos aos mesmos clientes.

No caso do segmento das tecnologias para o esporte, tomar-se-ão como referência monitores cardíacos, monitores de corrida com GPS, pedômetros e monitores de velocidade e distância percorridas, cujos preços variam entre 70 e 1700 reais.

No segmento de equipamentos médico-hospitalares também não há qualquer produto similar. Então o estabelecimento do preço deve considerar o poder aquisitivo dos clientes alvo e a média de preços de equipamentos de porte similar.

Assim, uma vez que o formato de comercialização do MAM compreenderá versões com mais e menos funcionalidades, os preços poderão variar entre R\$ 399 e R\$ 3900.

7.7.2.2 Estratégia de Promoção

A promoção do produto será feita em dois formatos. No segmento médico, o produto será promovido por meio de visitas aos potenciais clientes da empresa, em conformidade com a estratégia de vendas que considera parcerias com empresas de representação comercial da área médica. Ainda, o MAM deverá ser divulgado em seminários médicos e serão realizados workshops para promover o seu uso como ferramenta avançada de diagnóstico e reabilitação.

No segmento de esportes, a promoção do produto ocorrerá por meio de publicidade em lojas físicas e virtuais, que serão o canal de comercialização para os clientes da área esportiva.

7.7.3 Estratégia de Vendas

7.7.3.1 Forecast

A Tabela 10 mostra a estimativa de vendas do MAM para os três primeiros anos da empresa.

Tabela 10 – Forecast para o Monitor de Atividade Motora.

		ANO 0		ANO 1		ANO 2	
Versão	Preço (R\$)	Qtde.	Receita (R\$)	Qtde.	Receita (R\$)	Qtde.	Receita (R\$)
pacemaker	399,00	0	0	400	159.600,00	1000	399.000,00
Sports Advanced	2490,00	0	0	10	24.900,00	50	124.500,00
HealthCare 100	2290,00	0	0	20	45.800,00	30	68.700,00
HealthCare 200	3900,00	0	0	10	39.000,00	20	78.000,00
		0,00		269.300,00		670.200,00	

7.7.3.2 Plano de Vendas

Conforme descrito no item 7.6, no mercado de equipamentos médico-hospitalares os clientes são as pessoas responsáveis pela compra de equipamentos médicos para unidades de saúde e consultórios com ênfase na área de ortopedia e fisioterapia. Tradicionalmente, as vendas para este segmento são realizadas diretamente ao cliente. E como é objetivo da empresa comercializar o produto, a princípio, em todo o território nacional, torna-se inviável a manutenção de uma equipe de vendas vinculada ao quadro de funcionários da empresa com o intuito de realizar vendas a todos os potenciais clientes. Por isso, optou-se pela adoção de parcerias com representações comerciais. Embora os custos sejam elevados, há de se observar que, por meio da contratação de empresas especializadas em representação de equipamentos médicos, é possível não somente garantir a promoção ampla do produto mas também maior qualidade no processo de comercialização, uma vez que empresas deste ramo detêm experiência e grandes carteiras de clientes.

As vendas aos clientes do segmento de esportes são tradicionalmente realizadas por meio de lojas físicas e virtuais. Assim, as versões *pacemaker* e *Sports Advanced* serão destinadas exclusivamente às lojas.

7.7.4 Alianças Estratégicas

Os principais parceiros da empresa idealizada neste Plano de Negócio são os fornecedores, dentro os quais destacam-se a STMicroelectronics e o Contract Manufacturer, além de alianças com representações comerciais, lojas físicas e virtuais para a venda do produto.

7.7.5 Cronograma

A Figura 45 mostra o cronograma simplificado das atividades previstas para a empresa.

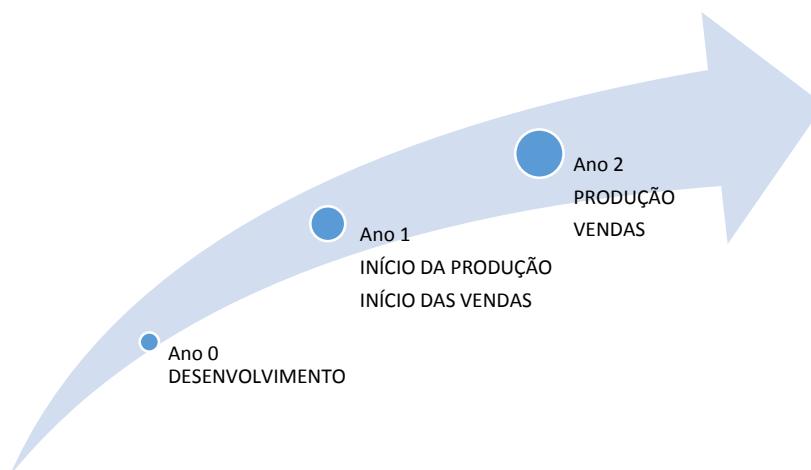


Figura 45 – Cronograma simplificado.

A Tabela 11 mostra o cronograma detalhado do Ano 0 e início do Ano 1 das atividades da empresa.

Tabela 11 – Cronograma simplificado.

	Data inicial	Data final
Abertura da empresa	01/01/15	28/02/15
Captação de recursos	01/03/15	31/03/15
Desenvolvimento do produto	01/04/15	31/12/15
Elaboração de contratos com representantes	01/06/15	30/09/15
Elaboração de contratos com fornecedores	01/06/15	31/12/15
Testes com clientes	01/10/15	31/12/15
Captação de recursos	01/12/15	31/12/15
Fabricação do lote inicial	01/01/16	01/02/16
Contratação de pessoal	01/01/16	01/02/16
Início das vendas	01/02/16	

7.8 PLANO OPERACIONAL

7.8.1 Recursos Humanos

O desenvolvimento do produto durante o ano 0 da empresa ficará a cargo do proprietário da empresa. A partir do ano 1, dar-se-á início à produção e às vendas, do que decorre o aumento expressivo da carga de atividades administrativas e operacionais. Sendo assim, dois funcionários deverão ser contratados: um auxiliar administrativo, que ficará responsável pelas atividades administrativas – contabilidade, controle de estoque, logística, secretaria –, e um técnico em eletrônica, que será responsável pelo processo produtivo. A Tabela 12 apresenta o resumo do quadro de funcionários da empresa a partir do ano 1.

Tabela 12 – Recursos humanos.

Função	Número de empregados
Auxiliar administrativo	1
Técnico em eletrônica	1

7.8.2 Layout

A empresa terá sede em uma sala comercial de aproximadamente 40 m², localizada em um edifício comercial próximo à região central da cidade de Curitiba. As necessidades se limitam a acomodar uma mesa de reunião para três pessoas, duas bancadas de trabalho, uma pequena área para os estoques de componentes, placas, mecânicas e embalagens, além de um banheiro. A Figura 46 apresenta o planejamento do *layout* da sala.

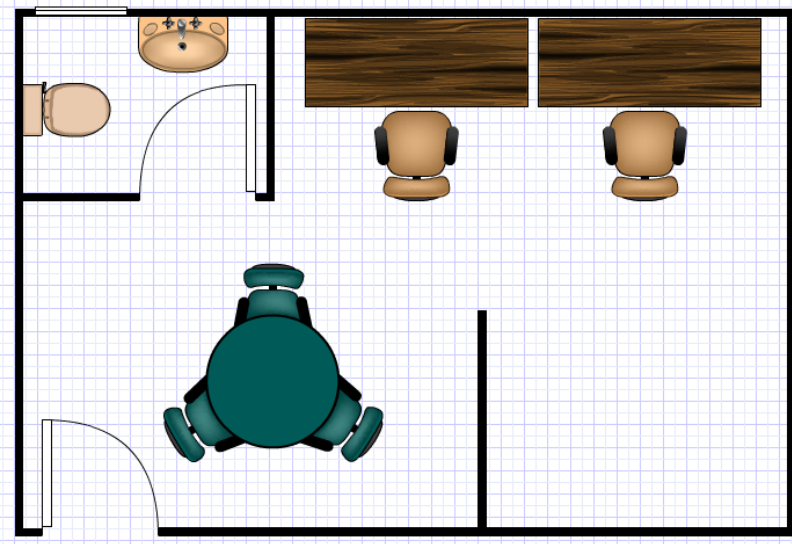


Figura 46 - Layout da sede da empresa.

7.8.3 Processos Operacionais

Durante o ano 0 (2015), as atividades da empresa consistirão no desenvolvimento do produto. Não haverá, portanto, gestão de operações durante este período.

A partir de 2016 (ano 1), dar-se-á início à produção do MAM, cujas etapas são apresentadas na Figura 47.



Figura 47 - Processo de produção do MAM.

As etapas de produção são descritas a seguir.

Fabricação e montagem das PCBAs: o modelo de negócio escolhido para a fabricação do produto é a contratação de um Contract Manufacturer para o fornecimento das PCBAs. Os itens passam então a integrar os estoques da empresa.

Fabricação dos CDs: um fornecedor será contratado para a fabricação e a gravação dos CDs com o software do produto.

Teste funcional de PCBAs: as placas montadas passam por testes que permitem avaliar a corretude do seu funcionamento. Placas com problemas são devolvidas ao Contract Manufacturer para reparos futuros.

Montagem: as placas, após serem testadas, são montadas sobre os elementos mecânicos.

Teste final: o produto passa por um teste funcional com o software e por um teste de baterias.

Embalagem: o produto é embalado juntamente com o manual e o CD de instalação do software.

Estoque: o produto já embalado é estocado até o momento do despacho.

O software do produto poderá também ser obtido por meio do site da empresa ou por meio das lojas virtuais Google Play e Apple Store, para possibilitar a instalação em dispositivos móveis como celulares e tablets.

Outros processos relacionados à administração e gestão financeira da empresa devem ser criados, bem como processos relacionados à logística.

7.8.4 Capacidade Produtiva

Os fatores limitantes da capacidade produtiva da empresa estão relacionados ao tempo de execução do processo apresentado na Figura 47. Como responsável pela operação da cadeia de produção, estima-se que o técnico tenha capacidade de concluir o processo fabril de 50 unidades do produto por dia. Assim, a capacidade máxima prevista de produção, com base na configuração operacional projetada para os primeiros anos da empresa, é de aproximadamente 1000 unidades do produto por mês.

7.9 PLANO FINANCEIRO

7.9.1 Estimativa dos Investimentos pré-operacionais

Os investimentos pré-operacionais se resumem aos custos de legalização da empresa e de adequação do local de trabalho. Conforme mostra a Tabela 13, o montante de investimentos é de R\$ 2.200,00.

Tabela 13 - Investimentos pré-operacionais

Descrição	Valor (R\$)
Legalização da empresa	1.000,00
Adequação do local de trabalho	1.200,00
TOTAL	2.200,00

7.9.2 Estimativa dos Investimentos Fixos

Os investimentos fixos estão relacionados à compra de equipamentos de laboratório e móveis para o local de trabalho. Como mostra a Tabela 14, o total é de R\$ 19.825,54.

Tabela 14 – Investimentos fixos.

Descrição	Preço unitário	Quantidade	Preço total
Osciloscópio Agilent DSOX3024A	12.053,00	1	12.053,00
Fonte de alimentação DC digital TENMA	1.841,60	1	1.841,60
Estação de solda ANTEX	2.015,58	1	2.015,58
Ferramentas (sugador de solda, parafusadeira elétrica)	155,45	1	155,45
Suprimentos (fio estanho, cabos)	266,32	1	266,32
Lupa com iluminação AVEN	695,18	1	695,18
Computador QBEX	1.899,00	1	1.899,00
Mesa	299,00	2	598,00
Cadeira	126,00	2	252,00
Telefone	49,41	1	49,41
		TOTAL	19.825,54

7.9.3 Custos e Despesas com Recursos Humanos

Os custos mensais com recursos humanos a partir do ano 1 da empresa são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos e despesas com recursos humanos.

Função	Número de empregados	Salário mensal (R\$)	Subtotal (R\$)	(%) de encargos	Encargos (R\$)	Total (R\$)
Auxiliar administrativo	1	904,20	904,20	33,77	305,35	1.209,55

Técnico em eletrônica	1	1.500,00	1.500,00	33,77	506,55	2.006,55
					TOTAL	3.216,10

7.9.4 DRE

A Tabela 16 apresenta a Demonstração de Resultados do Exercício previsto para os três primeiros anos da empresa.

Posto que as vendas do produto se iniciam a partir do ano 1, a cobertura dos custos e despesas durante o ano 0 ocorre por meio de um aporte ao caixa da empresa feito pelo seu proprietário no valor de R\$ 50.000,00.

No ano 1, será necessário ainda a contratação de um financiamento no valor de R\$ 50.000,00 para custear o início da produção.

A partir do ano 2, projeta-se que a empresa estará apta a operar com recursos do próprio caixa.

Tabela 16 - DRE

	Ano 0 (2014)	Ano 1 (2015)	Ano 2 (2016)
RECEITA OPERACIONAL BRUTA			
Vendas	0,00	269300,00	670200,00
TOTAL RECEITA OPERACIONAL BRUTA	0,00	269300,00	670200,00
DEDUÇÕES SOBRE RECEITA BRUTA	0,00	50359,10	130689,00
RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	0,00	218940,90	539511,00
CUSTOS DAS VENDAS			
Custos de produtos vendidos	0,00	94255,00	234570,00
RESULTADO OPERACIONAL BRUTO	0,00	124685,90	304941,00
DESPESAS OPERACIONAIS			
Despesas com vendas	0,00	53860,00	134040,00
Aluguel + taxas	0,00	18000,00	18000,00
Telefonia	2400,00	4800,00	4800,00
Água e Luz	0,00	2400,00	2400,00
Manutenção	0,00	1200,00	1200,00
Depreciação	1749,96	1749,96	1749,96
Prototipagem	20000,00	0,00	0,00
Pessoal	0,00	38593,20	38593,20
Pró-Labore	0,00	12000,00	24000,00
Limpeza	0,00	600,00	1200,00
TOTAL DE DESPESAS OPERACIONAIS	24149,96	133203,16	225983,16
DESPESAS FINANCEIRAS			
Juros e amortizações	0,00	18658,32	18658,32
TOTAL DE DESPESAS FINANCEIRAS	0,00	18658,32	18658,32
RESULTADO OPERACIONAL ANTES IR	24149,96	27175,58	60299,52
PREVISÃO DE IMPOSTO DE RENDA	0,00	0,00	19898,84
RECEITAS FINANCEIRAS			
Recursos próprios	50000,00	0,00	0,00
Financiamento de capital de giro	0,00	50000,00	0,00
TOTAL DE DESPESAS E RECEITAS FINANCEIRAS	50000,00	50000,00	0,00
RESULTADO LÍQUIDO DO EXERCÍCIO	25850,04	22824,42	40400,68
RESULTADO ACUMULADO NO EXERCÍCIO	25850,04	48674,46	89075,14

7.9.5 Rentabilidade

A rentabilidade esperada para o negócio ao longo de seis anos, considerando um crescimento anual médio de 10% nas vendas é de 33%, muito acima das taxas de referência do mercado.

7.10 ANÁLISE SWOT

Por meio da análise SWOT do negócio, busca-se identificar vulnerabilidades da empresa, bem como oportunidades.

1. Forças

- Preço de venda competitivo, amparado pelos baixos custos e despesas, devido à estrutura enxuta de produção e administração da empresa.
- Produto de alta qualidade.

2. Oportunidades

- Linhas de financiamento de capital de giro a juros subsidiados pelo governo.
- Tendência de crescimento do mercado.
- Concorrentes desqualificados.

3. Fraquezas

- Recursos financeiros limitados.
- Prazo curto para o desenvolvimento do produto.
- Custos de comercialização elevados.

4. Ameaças

- Impostos elevados sobre a importação de componentes eletrônicos.
- Possibilidade de se ter o produto copiado.

7.11 MODELO DE NEGÓCIOS CANVAS

Parceiros-chave: fornecedores, Contract Manufacturers, rede de assistência técnica.	Atividades-chave: desenvolvimento, fabricação, logística, publicidade, treinamentos.	Proposta de Valor: Dispositivo para o estudo avançado em tempo real do movimento humano do corpo humano de atletas, desportistas e pessoas em reabilitação motora, denominado Monitor de Atividade Motora. Os diferenciais do produto são a portabilidade, funcionalidades inovadoras e preço competitivo.	Relacionamentos com o cliente: pós-venda, suporte, treinamento.	Segmentos de mercado: mercado de tecnologias para o esporte, cujos clientes alvo são desportistas, atletas e treinadores; mercado de equipamentos médico-hospitalares, cujos clientes alvo são ortopedistas e fisioterapeutas.
	Recursos-chave: recursos humanos, projeto de hardware e software.		Canais: site da empresa, lojas físicas e virtuais, representação comercial.	
Estrutura de custos: fabricação, logística, revenda, suporte.			Receitas: vendas do produto, de upgrades e de atualizações.	

8 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos propostos para este trabalho de conclusão de curso, foi desenvolvido um sistema de telemetria de aceleração denominado Monitor de Atividade Motora (MAM).

Foi desenvolvido um conjunto de sensores dotados de um acelerômetro e um módulo de rádio Bluetooth, por meio do qual os dados das medições são transmitidos a um dispositivo receptor denominado *Front End*, que é conectado ao computador por meio de interface USB.

Ainda, foi desenvolvido um software que permite ao usuário visualizar graficamente os dados das medições em tempo real, além de outras funcionalidades.

O MAM foi utilizado no estudo do movimento de um elevador, no estudo de tremores humanos e na medição do impacto de uma ferramenta de furação sobre o operador. Em todos os casos, o sistema desempenhou duas funções de aquisição satisfatoriamente, sendo capaz de adquirir dados de aceleração de menor e maior intensidade. A confiabilidade da transmissão sem fio também pôde ser atestada por meio de um indicador de perda de pacotes embutido no protocolo de transmissão e apresentado na interface gráfica do software do sistema. Durante todos os estudos de caso, a perda de pacotes foi inferior a 1%.

Antevendo-se a necessidade de aprimoramento do sistema de medição para a sua aplicação no estudo da aceleração de corpos e sistemas cujos estados de movimento sejam mais complexos, incorporou-se ao projeto eletrônico dos sensores a possibilidade de montagem de um segundo componente metrológico. Especula-se que um magnetômetro MEMS possa ser incorporado ao sistema e, a partir dos dados de orientação do vetor gravidade, torná-lo em um sistema de sensoreamento inercial.

REFERÊNCIAS

ANDREJAŠIČ, Matej. **MEMS ACCELEROMETERS**. In: Seminar MEMS ACCELEROMETERS, 2008, Marec. Disponível em: <http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2007_2008/MEMS_accelerometers-koncna.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2014. p. 2.

MCWHORTER, Paul. **MEMS Products**. Disponível em: <<http://www.memx.com/products.htm>>. Acesso em: 8 mar, 2014.

PRIME Faraday Partnership. **An Introduction to MEMS (Micro-Electromechanical Systems)**. New edition. Loughborough: Loughborough University, 2003.

Bluetooth Special Interest Group. **Bluetooth Brand Trademarks and Logos**. Disponível em <<https://www.bluetooth.org/en-us/bluetooth-brand/bluetooth-brand>>. Acesso em: 9 mar. 2014.

Bluegiga Technologies. **Bluetooth Smart: Getting Started**. Version 1.7. 2013. 27 p.

Bluetooth Special Interest Group. **Specification Adopted Documents**. Disponível em <<https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>>. Acesso em: 9 mar. 2014.

GODFREY, A et al. **Direct measurement of human movement by accelerometry**. ScienceDirect. 7 mai. 2008. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/23461269_Direct_measurement_of_human_movement_by_accelerometry/file/9fcfd50588bf4b256e.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2013.

The Sports Techie. **How big a market is sports technology?** Disponível em: <<http://sportstechie.net/how-big-market-sports-technology/>>. Acesso em: 3 fev. 2014.

Valor Econômico. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/2932518/mercado-de-equipamentos-e-suprimentos-medicos-cresce-42-em-12-meses>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

Espicom. **Worldwide Medical Market Forecast to 2018**. Disponível em: <<http://www.espicom.com/world-medical-market-forecasts>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

ABIMED. **Mercado de equipamentos, produtos médico-hospitalares e diagnóstico cresce mais do que a média da economia brasileira.** Disponível em: <http://www.abimed.org.br/sala-de-imprensa/mercado_de_produtos.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2013.

National Institutes of Health. **GLOBAL COMPETITIVENESS – THE IMPORTANCE OF U.S. LEADERSHIP IN SCIENCE AND INNOVATION FOR THE FUTURE OF OUR ECONOMY AND OUR HEALTH.** Disponível em: <http://www.nih.gov/about/impact/impact_global.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2013.

LOUIS, Elan D. **Essential Tremor.** The Lancet Neurology, vol. 4, fev. 2005. p 100-110.

ELBLE, R. J. **Characteristics of physiologic tremor in young and elderly adults.** Clinical Neurophysiology, vol. 114, abr. 2003. p 624-635.

STMicroelectronics. **LIS3DH - MEMS digital output motion sensor ultra low-power high performance 3-axes “nano” accelerometer, rev. 1, mai 2010.** Disponível em: <<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00274221.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2013.