UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

COMPRESSÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS BASEADA EM PRÉ-PROCESSAMENTO UTILIZANDO PLATAFORMA DE HARDWARE

Voluntária: Luciana Rolim Costa

MANAUS 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL

PIB-E/0154/2013

COMPRESSÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS BASEADA EM PRÉ-PROCESSAMENTO UTILIZANDO PLATAFORMA DE HARDWARE

Voluntária: Luciana Rolim Costa

Orientador: D.Sc. Waldir Sabino da Silva Júnior

MANAUS 2014

RESUMO

Propõe-se neste projeto o desenvolvimento de um sistema capaz de adquirir o sinal de Eletrocardiograma (ECG) de uma pessoa, adequar este sinal analógico para a digitalização do mesmo, para posterior processamento digital em uma plataforma de hardware. O objetivo deste projeto é aplicar técnicas de pré-processamento, ou seja, técnicas que adequem o sinal biológico ECG, para sua posterior compressão, de forma que ele possa ser armazenado na plataforma de hardware raspberry pi. O projeto foi dividido em 3 partes: aquisição do sinal de ECG, conversão analógico-digital do sinal e processamento digital do sinal. A implementação física do sistema como um todo não foi concluída por conta de impecílios com relação à obtenção dos componentes de hardware necessários para construir o circuito de aquisição do sinal, porém, estudos foram feitos de modo a entender o funcionamento de cada parte do sistema, a definição dos componentes de hardware foi feita com base nesta análise e simulações foram realizadas com o intuito de observar o comportamento do sinal ECG digitalizado após a aplicação de técnicas como a Transforma de Fourier Discreta (DFT). Observações essas, essenciais para a continuação futura do projeto. Como mencionado anteriormente, este projeto terá continuidade e os conhecimentos adquiridos serão aplicados futuramente em outras pesquisas nessa área.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6
2.1 Eletrocardiograma 6
2.2 Transformada Discreta de Fourier (DFT) 7
3 MÉTODOS UTILIZADOS 9
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 10
4.1 Aquisição do sinal de Eletrocardiograma (ECG) 10
4.1.1 Amplificação 11
4.1.2 Isolamento 11
4.1.3 Filtragem 12
4.2 Conversão Analógico-Digital 12
4.3 Processamento Digital do Sinal 13
4.3.1 Simulação da aquisição dos dados na raspberry pi 14
5 CONCLUSÕES 15
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16
7 APÊNDICE A: CRONOGRAMA EXECUTADO 17

1 INTRODUÇÃO

As técnicas que utilizam processamento digital de sinais vêm ganhando espaço em diversas aplicações, como: processamento de voz, áudio, imagem, vídeo, automação, medicina, biologia e todas as áreas em que é possível utilizar um computador digital para processar informações [13].

Atualmente, observa-se um grande interesse da comunidade científica com relação ao processamento digital de sinais biológicos, sinais estes que podem ter origem elétrica (despolarização de uma célula ou músculo cardíaco), mecânica (sons gerados pelo encerramento das válvulas cardíacas) ou química (saturação de oxigênio do sangue). Isto deve-se ao fato de que o processamento digital destes sinais permite a detecção de parâmetros que suportam a decisão clínica e a análise ao longo do tempo, tendo assim, uma grande variedade de aplicações [14].

Exemplos de aplicações que utilizam o processamento digital de determinado sinal biológico seria a utilização de um dispositivo móvel para realizar o monitoramento de pacientes ou armazenar os dados referentes a eles em um banco de dados para posterior análise.

Neste projeto, o sinal biológico estudado foi o sinal Eletrocardiograma (ECG) que registra a variação dos estímulos elétricos aplicados aos átrios e aos ventrículos.

O objetivo deste projeto é aplicar técnicas de pré-processamento, ou seja, técnicas que adequem o sinal biológico ECG, para sua posterior compressão, de forma que ele possa ser armazenado na plataforma de hardware raspberry pi e que estas informações fiquem disponíveis para aplicações futuras de análise desses dados.

Para atingir este objetivo, o projeto foi dividido em três partes: aquisição do sinal de ECG, conversão analógico-digital do sinal e processamento digital do sinal na raspberry pi. Em cada parte primeiramente foram estudados os fundamentos teóricos envolvidos, em seguida, houve a especificação dos componentes de hardware utilizados e, após isso, realizamos uma implementação protótipo de modo observar o comportamento dos mesmos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A digitalização de sinais tornou o mundo digital aberto para as mais diversas aplicações. Isto porque representar um sinal no formato digital permite uma maior flexibilidade, pois alterações no sistema podem ser feitas apenas modificando o software, sem a necessidade de alterar o hardware.

As técnicas que utilizam processamento digital de sinais vêm ganhando espaço nas mais diversas áreas em que é possível utilizar um computador digital para processar informações, dentre essas áreas estão a biologia e a medicina.

Aplicações que utilizam dispositivos móveis para realizar o monitoramento de pacientes à distância [1] utilizando internet [2] ou comunicação *bluetooth* [3] ou a criação de bancos de dados para armazenar informações sobre os pacientes para posterior análise aplicando técnicas de aprendizagem de máquinas [4] são exemplos de aplicações que tem flexibilizado a interação entre paciente e médico, além de colaborar para um diagnóstico mais preciso.

Isto mostra o crescente interesse na criação de sistemas automatizados e portáteis que utilizem o processamento de sinais biológicos e que colaborem para o trabalho de profissionais da área de medicina, principalmente.

Seguindo este mesmo princípio, este projeto visa utilizar os vários conhecimentos consolidados nos trabalhos feitos nesta área para criar um sistema que adquira o sinal de Eletrocardiograma de uma pessoa, converta este sinal para o formato digital e o armazene na plataforma de processamento digital do sinal, a raspberry pi.

2.1 Eletrocardiograma

O sinal biológico estudado neste projeto é o gerado pelo Eletrocardiograma (ECG). O eletrocardiograma é um exame de saúde na área de cardiologia que registra, por meio de eletrodos, a variação dos potenciais elétricos gerados pela atividade elétrica do coração ocasionada pela despolarização e repolarização dos átrios é ventrículos. Os átrios e os ventrículos são câmaras que compõem o coração e são responsáveis por bombear o sangue ao longo do sistema circulatório. O sinal de ECG é composto por um conjunto de ondas, como ilustrado na Figura 1.

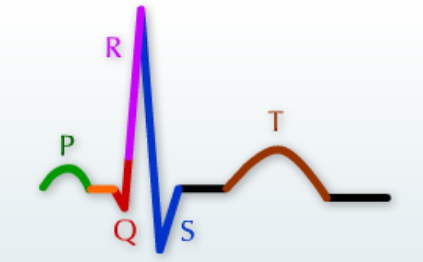

Figura 1. Sinal ECG

A onda P é causada pela despolarização do átrio, as ondas Q, R e S formam o chamado "complexo QRS" causado pela despolarização ventricular e a onda T é causada pela repolarização ventricular. Através da análise das características dessas ondas que a detecção de anomalias é feita.

2.2 Transformada Discreta de Fourier (DFT)

O uso das transformadas serve para observar características de um sinal que estão presentes nele, mas que não podem ser observadas no domínio em que ele se encontra. Assim, as transformadas conseguem levar o sinal para outro domínio e trazê-lo de volta ao domínio original.

A Transformada Discreta de Fourier (DFT) é resultante de modificações feitas na Transformada de Fourier (FT). A FT, definida na equação (1), permite a descrição de sinais não-periódicos em termos do seu conteúdo de frequência.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt\,,\ -\infty < \omega < \infty \tag{1}$$

Esta transformada é modificada de modo a ser representada no tempo discreto, originando a Transformada de Fourier de Tempo Discreto (DTFT), definida na equação (2), cujo resultado é função de frequências contínuas, porém diferentemente da FT que descreve sinais não-periódicos, esta é uma função periódica.

$$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\Omega n} \tag{2}$$

A DFT, definida na equação (3), pode ser vista como uma "discretização em frequência da DTFT". Ela é a transformada de um sinal no tempo discreto que é função de um número finito de frequências.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N}\,,\ k \in \mathbb{Z} \tag{3}$$

A discretização das frequências permite que o sinal discreto obtido desta transformada seja armazenado em uma plataforma de armazenamento de dados digitais, que no caso deste projeto é a raspberry pi.

3 MÉTODOS UTILIZADOS

Optou-se por dividir o sistema a ser desenvolvido em módulos: um módulo de aquisição do sinal, um de conversão analógico-digital do sinal e um de processamento digital do sinal. O primeiro módulo adquire o sinal de ECG, que por sua vez é transmitido, através dos eletrodos, ao circuito de aquisição responsável por realizar as operações necessárias para adequar o sinal à conversão analógico-digital. O segundo módulo, composto pelo conversor analógico-digital, digitaliza este sinal e o envia, através de uma porta serial, ao terceiro módulo, composto pela plataforma de processamento digital do sinal, a raspberry pi.

Primeiramente, foi feito um estudo teórico, de acordo com cada módulo estudado. Com relação ao primeiro módulo, um estudo teórico foi feito visando entender o sinal de eletrocardiografia e de que forma ele é obtido de uma pessoa. Após isso, vários circuitos foram analisados de modo a definir o melhor a ser utilizado como circuito de aquisição neste projeto. Para o segundo módulo, pesquisas por componentes que realizam a conversão analógico-digital do sinal foram feitas, focando em componentes com a mesma interface suportada pela raspberry pi. Com relação ao terceiro módulo, realizou-se a configuração da raspberry pi e a instalação da biblioteca que será utilizada na abertura dos arquivos contendo os dados de ECG digitalizados.

Por fim, ferramentas auxiliares foram utilizadas, como: o banco de dados digitais de sinais ECG, para visualizar como os dados digitais são armazenados, e o software MATLAB, utilizado para aplicar a transformada de Fourier nestes dados e observar o comportamento dos mesmos. Além disso, a implementação de um programa utilizando a biblioteca portada para a rasbperry pi foi feito de modo a simular a abertura de um arquivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Aquisição do sinal de Eletrocardiograma (ECG)

Para que a aquisição do sinal ECG seja feita é necessário haver um circuito de aquisição responsável por adequar o sinal para sua posterior digitalização. Ligado a este circuito estarão os eletrodos, dispostos em pontos específicos da superfície do corpo de uma pessoa. Os eletrodos utilizados neste projeto são os do tipo gel sólido (hidrogel) adesivo e condutor, ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Eletrodo

Neste projeto, optou-se por dispor os eletrodos nos braços esquerdo e direito e na perna direita de uma pessoa. O circuito de aquisição escolhido para ser a base para esta primeira parte do projeto está ilustrado na Figura 3 [5].

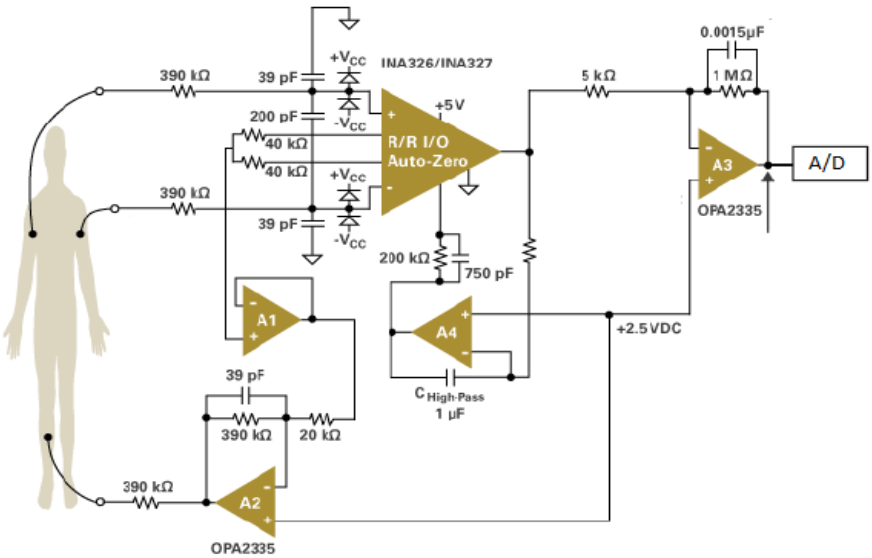

Figura 3. Circuito base para a projeção do circuito de aquisição

Existem três operações essenciais que este circuito realiza de modo a garantir que o sinal ECG analógico esteja pronto para a conversão analógico-digital e não represente nenhum perigo

para a pessoa que está com os eletrodos fixados na superfície do seu corpo. Essas operações são: amplificação, isolamento e filtragem.

4.1.1 Amplificação

Os sinais originados dos eletrodos têm uma intensidade muito fraca, de tal forma que não podem ser transmitidos, portanto, faz-se necessário realizar uma amplificação deste sinal, ou seja, elevar a sua intensidade para possibilitar a transmissão do mesmo.

Os amplificadores utilizados para realizar esta operação, baseado no circuito modelo da Figura 3, foram: o amplificador operacional OPA2335 e o amplificador operacional INA326.

Um amplificador operacional (Amp Op) é um dispositivo que serve para aumentar a amplitude ou potência de um sinal elétrico. Ele é utilizado na realização de operações aritméticas envolvendo sinais analógicos, tais como adição, subtração, multiplicação, divisão, integração e diferenciação.

O amplificador operacional OPA2335 é utilizado em aplicações que envolvem medição de temperatura, instrumentação médica, balanças eletrônicas, dentre outros.

Figura 4. Amplificador Operacional OPA2335

O INA326, por sua vez, é um amplificador de instrumentação utilizado em aplicações como medição através de sensores, sistemas multi-canais de aquisição de dados, instrumentação médica, dentre outros.

Um amplificador de instrumentação é um tipo especial de amplificador operacional que permite a obtenção de algumas características que garantem a precisão.

Figura 5. Amplificador de instrumentação INA326

4.1.2 Isolamento

Em outros projetos pesquisados observou-se que havia um circuito construído para garantir o isolamento. Neste projeto, no entanto, os amplificadores escolhidos realizam a operação de

isolamento, pois são próprios para aplicações que envolvem instrumentação médica, o que evitou ter que construir um circuito dedicado para realizar esta operação.

4.1.3 Filtragem

A banda de frequências do sinal ECG, ou seja, as frequências ocupadas por este sinal variam até 200Hz, dessa forma, é necessário realizar a operação de filtragem nessa faixa de frequência. O filtro utilizado no circuito foi um filtro passa-alta, que desconsidera as frequências baixas focando nas frequências altas.

4.2 Conversão Analógico-Digital

A plataforma de processamento digital utilizada, o minicomputador raspberry pi, não possui um conversor analógico-digital, dessa forma, foi necessário encontrar uma placa de extensão (*shield*) que realizasse esse processo. O *shield* escolhido foi o ADS1015.

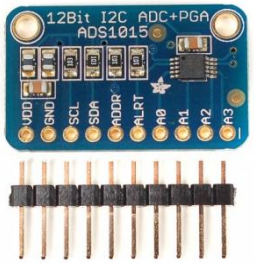

Figura 6. Conversor Analógico-Digital ADS1015

Este é um conversor analógico-digital de 12 bits de alta precisão com 3300 amostras/segundo via porta serial I^2C, que é um barramento serial utilizado para conectar periféricos de baixa velocidade a um sistema embarcado, que no nosso caso é a raspberry.

4.3 Processamento Digital do Sinal

A plataforma de hardware escolhida para processamento digital do sinal foi a raspberry pi.

Figura 7. Modelo B da Raspberry Pi

A raspberry pi é um computador do tamanho aproximado de um cartão de crédito. Todo hardware é integrado em uma única placa e, atualmente existem 2 modelos, cujas principais diferenças são: o modelo A possui 256 MB de memória RAM, 1 porta USB e nenhuma porta Ethernet, enquanto o modelo B possui 512 MB de memória RAM, 2 portas USB e 1 porta Ethernet.

As principais características do modelo B da raspberry pi estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Características do modelo B da Rasbperry Pi

Processador	700 MHz ARM1176JZF-S core (família ARM11)
Unidade de Processamento Gráfico (GPU)	deoCore IV, OpenGL ES 2.0
Memória RAM	512 MB
Intefaces	HDMI, 2x portas USB 2.0, entrada para cartão SD/MMC/SDIO, 10/100 Ethernet RJ45, entrada de vídeo RCA composto
Sistemas Operacionais suportados	Linux (Debian, Arch, Fedora), RISC OS

A configuração desta plataforma foi feita, instalando o sistema operacional oficial raspbian. Além disso, a biblioteca Open Source Computer Vision Library (OpenCV) foi instalada.

A OpenCV é uma biblioteca projetada para eficiência computacional com um forte foco em aplicações em tempo-real. Ela contém módulos para Processamento Digital de Imagens (PDI), módulos para análise de vídeo, para algoritmos de geometria, dentre outros. Além disso, ela possui interfaces C++, C, Phyton e JAVA e suporta Windows, Linux, Mac OS, iOS e Android.

4.3.1 Simulação da aquisição dos dados na raspberry pi

Os dados que serão processados na rasbperry serão dados digitais. Para simular a aplicação da transformada de Fourier discreta nos dados digitais de ECG utilizou-se o MIT-BIH Arrythimia Dabase [12] presente no PhysionBank Archives, uma série de sinais fisiológicos digitalizados organizados em 60 bancos de dados.

O software MATLAB.foi a ferramenta utilizada para abrir os arquivos digitalizados que seguiam o formato:

- Tipos de arquivos:
  - 100.atr: anotações de referência.
  - 100.dat: arquivos dos sinais em um formato.
  - 100.hea: cabeçalhos (atributos: nome, número de sinais, frequência de amostragem, dentre outros).

Dessa forma, foi necessário obter o programa do autor desses arquivos [12] de forma a acessar os sinais digitalizados.

Após isso, foi necessário adequar o código colocando-o dentro de uma função e aplicando a função *Y = fft(x)* de modo a obter a transformada discreta de Fourier.

O gráfico resultante da aplicação deste processo está ilustrado na Figura 8.

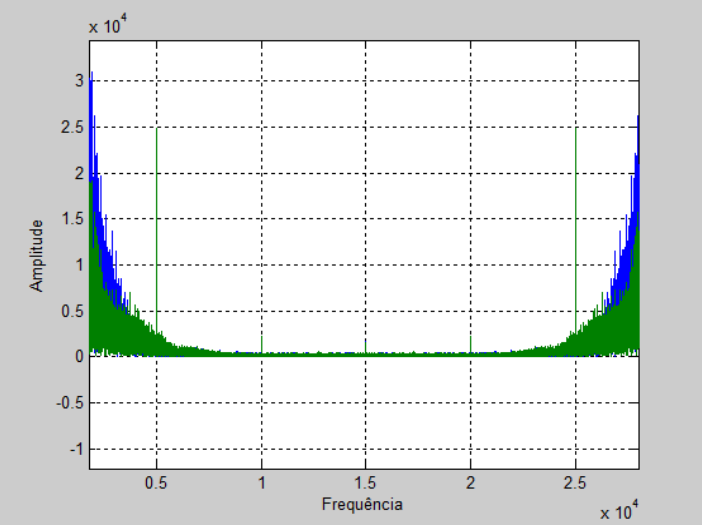

Figura 8. Gráfico resultante da aplicação da DFT no sinal digitalizado ECG

Esta simulação foi feita com o intuito de entender o comportamento dos sinais ECG após a aplicação da transformada de Fourier, além de obter a familiarização com os arquivos que deverão ser abertos utilizando a biblioteca OpenCV na raspberry pi.

5 CONCLUSÕES

Neste projeto, a construção do sistema proposto envolveu conhecimentos de várias áreas, como o estudo do eletrocardiograma, o estudo de sensores mais adequados para realizar a tarefa desejada, circuitos adequados para realizar o pré-processamento dos sinais ECG analógicos, conversão analógico-digital, processamento digital dos sinais ECG, dentre outros. Estes estudos foram necessários para entender o funcionamento de cada parte do sistema, e este objetivo foi atingido. A implementação do sistema como um todo, no entanto, não foi concluída. Isso ocorreu por conta de problemas com relação à aquisição dos componentes necessários para a construção do circuito de aquisição, o que limitou o desenvolvimento do projeto. Porém, ferramentas auxiliares, como bancos de dados digitais, o software MATLAB e a própria plataforma de hardware raspberry pi permitiram que testes fossem feitos de modo a visualizar comportamentos essenciais para a continuidade do projeto no futuro.

Este projeto contribuiu de forma significativa para o conhecimento mais aprofundado sobre a área que envolve a aplicação de conhecimentos sobre pré-processamento de sinais e processamento digital de sinais à área da saúde, motivando desta forma a seguir esta linha de pesquisa em um possível curso de pós-graduação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ARI M. JUNIOR, JOÃO H. C. SIMAS. Eletrocardiógrafo com dispositivos móveis e monitoramento a distância. Trabalho de conclusão de curso. UFPR, Curitiba, 2013.

[2] SAMIR BONHO, DANIEL KOLM, J.F.R. BAGGIO, LEANDRO SCHWARZ, RAIMES MORAES. Monitoração de sinais de ECG pela internet em Tempo Real, Instituto de Engenharia Biomédica, UFSC, Brasil.

[3] DANIEL HENRIQUE MARTINCOSKI. Sistema para telemetria de eletrocardiograma utilizando tecnologia *bluetooth*. Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, 2003.

[4] CARLOS EDUARDO CASTOR DE MELO. Classificação de eletrocardiograma utilizando Extreme Learning Machine. Trabalho de conclusão de curso. Escola Politécnica de Pernambuco. UFPE, Recife-PE, Brasil, Novembro de 2012.

[5] DANIEL PAULUS, THOMAS MEIER. ECG-Amplifier. Biomedizinische Technick. MB Jass 2009.

[6] A. S. Sedra e K. Smith. Microeletrônica. Pearson Prentice Hall, 5ª edição, 2007.

[7] Texas Instruments. INA326 Datasheet: Precision, Rail-to-Rail I/O Instrumentation Amplifier, November 2001.

[8] Texas Instruments. OPA2335 Datasheet: CMOS Operational Amplifiers, June 2002.

[9] Texas Instruments. ADS1015 Datasheet: Analogic-to-Digital Converter with Internal Reference, October 2009.

[10] MATT RICHARDSON. SHAWN WALLACE. Getting Started with Raspberry Pi. O'Reilly Media, First Edition, December 2012.

[11] EDWARD W. KAMEN. BONNIE S. HECK. Fundamentals of Signals and Systems Using The Web and MATLAB. Pearson Prentice Hall, Third Edition, 2007.

[12] Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng CK, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215

[13] ADSON F. DA ROCHA, JOÃO L.A. DE CARVALHO, PEDRO DE AZEVEDO BERGER, FRANCISCO A. DE OLIVEIRA NASCIMENTO. Processamento de Sinais Biológicos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação, UNB, Brasil.

[14] FACULDADE DE MEDICINA UNIVERSIDADE DO PORTO. Sinal e Imagem. Em: < http://im.med.up.pt/sinal_imagem/sinal_imagem.html>. Acesso em: 12 de Julho de 2014.

7 APÊNDICE A: CRONOGRAMA EXECUTADO

Descrição		2013				2014						
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Levantamento de projetos feitos que seguem a mesma linha de pesquisa do projeto.	X											
Definição das partes que compõe o sistema		X										
Estudo sobre a teoria envolvida na parte da aquisição do sinal ECG			X									
Pesquisa por componentes eletrônicos para o circuito de aquisição				X								
Definição do circuito de aquisição a ser implementado					X							
Estudo sobre os fundamentos teóricos envolvidos na Conversão Analógico-Digital do sinal						X						
Pesquisa pelo componente para realizar a Conversão Analógico-Digital do Sinal							X					
Familiarização com a plataforma de Processamento Digital do Sinal, a Raspberry Pi							X					
Configuração da Raspberry Pi								X				
Estudo dos conceitos envolvidos na simulação da aplicação da DFT nos dados digitais de ECG								X				
Pesquisa por ferramentas auxiliares para simular a aplicação da DFT nos dados digitais de ECG									X			
Realização da simulação										X		
Pesquisa por bibliotecas suportadas pela Raspberry Pi para realizar a abertura do arquivo contendo os dados digitais de ECG											X	
Instalação da Biblioteca na Raspberry Pi												X