

Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Análise espectral da variabilidade da pressão arterial e sua interpretação fisiológica

Jean Rodrigues Magalhães

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Engenharia da Computação

Orientadora

Prof.a Dr.a Flavia Maria Guerra de Sousa Aranha Oliveira

Brasília
2021

Dedicatória

Este trabalho de conclusão de curso representa o fechamento de um ciclo e a abertura de novos. Dedico este momento à minha família, em especial os meus pais, Jorge Alves Magalhães e Eliana Rodrigues Viana Magalhães. Pai e mãe, obrigado por terem lutado pela minha vida desde o momento em que eu nasci, sempre proporcionando, na medida do possível, segurança, saúde, conforto e educação de qualidade. Estamos passando por um momento complicado em nossas vidas em meio à uma pandemia de proporções jamais antes vistas e problemas familiares. Apesar das dificuldades, fico feliz em poder estar compartilhando esse sentimento de alegria com vocês e por termos vencido a COVID-19 juntos, depois um longo período difícil e doloroso, no hospital. Isso nos deixou muitas marcas, mas, finalmente, poderão ver o seu filho concluir mais esta etapa. Dedico esse trabalho, também, à minha irmã Isabelle Cristine que sempre me apoiou e deu forças quando nem eu mesmo acreditava mais no meu potencial. Dedico este trabalho à memória da minha avó Suely Rodrigues Andrade, do meu avô Ignácio Ferreira Viana e do meu avô Francisco Fontenele Magalhães.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade de ter chegado até aqui e por me permitir conquistar os meus sonhos. Peço licença para demonstrar a minha gratidão à Professora Flavia Maria, minha orientadora e pessoa com quem pude contar no último ano. A professora Flavia abriu espaço para que eu pudesse concluir o meu curso sob às suas orientações e sempre me acolheu da forma mais positiva e inspiradora quando mais precisei, a senhora é um grande exemplo de profissional a ser seguido.

Agradeço aos meus pais, minha irmã, amigos e familiares por terem me apoiado nesta jornada. Gostaria de remercear, em especial, à minha namorada, Victória Argolo que me apoiou incondicionalmente e nunca me deixou desistir de perseguir meus objetivos. Minha avó Cecilia e minha Bisavó Luzia Elizabete, merecem um espaço especial nestes agradecimentos, pois, além de serem as responsáveis pela continuidade das minha duas famílias, essas duas, quase centenárias, em seus plenos 98 anos, são o maior exemplo de inspiração que pude ter.

Obrigado a todos que não consegui citar aqui, mas que contribuíram de alguma forma para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Resumo

O presente estudo desenvolve a discussão, com auxílio dos dados da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), a respeito da variabilidade da pressão arterial (VPA) com base nos dados de vinte indivíduos que estão disponíveis em bancos de dados públicos. Os estudos sobre VPA não são tão abrangentes quanto os relacionados à VFC, que já passaram por diversas padronizações e são estudados há mais tempo. A principal comparação feita, aqui, é entre as funções do sistema nervoso autônomo de indivíduos jovens e idosos, investigando o fator envelhecimento nas possíveis mudanças nesse sistema. Não foram encontradas diferenças significativas tanto nos índices quantitativos de alta e baixa frequência da VFC quanto nos índices de alta e baixa frequência da VPA, bem como nas razões entre esses índices para ambas as variabilidades. Todas as obtenções dos índices citados foram feitas através do método de Welch, que consiste na aplicação da transformada rápida de Fourier em segmentos ao longo do sinal amostrado. Os resultados deste estudo podem indicar que o envelhecimento, por si só, não é responsável por causar alterações na modulação dos sinais que provocariam mudanças na VFC e VPA.

Palavras-chave: Variabilidade da pressão arterial, Frequência Cardíaca, Sinais Biomédicos, Interpretação fisiológica.

Abstract

The present study develops the discussion of about Blood Pressure Variability (BPV), also using heart rate variability (HRV) data, based on data from twenty individuals that are available on the internet. Studies on BPV are not as comprehensive as those related to HRV which have gone through several standardizations and have been studied for a longer time. The main comparison made here is between the functions of the autonomic nervous system of young and elderly individuals, investigating changes in this system due aging factor. No significant differences were found either in the quantitative indexes of high and low frequency of HRV or in the high and low frequencies indexes of BPV, as well as in the ratios between these two indexes for BPV and HRV. All of the abovementioned indexes were obtained using the Welch method, which consists of the application of the fast Fourier transform in segments from the sampled signal. The results of this study may indicate that aging, by itself, is not responsible for causing changes in signal modulation that would cause changes in HRV and BPV.

Keywords: Blood pressure variability, Heart rate, Biomedical signals , physiological interpretation.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Disposição do Texto	2
2	Fundamentação Teórica	3
2.1	Fisiologia	3
2.1.1	Sistema Nervoso Autônomo	3
2.1.2	Sistema Cardiovascular	4
2.1.3	Eletrocardiograma - ECG	6
2.2	Variabilidade da Frequência Cardíaca	7
2.3	Variabilidade da Pressão Arterial	8
2.4	Análise Espectral e Densidade do Espectro de Potência	8
2.4.1	Método de Welch	8
3	Metodologia	9
3.1	Dados	9
3.2	Tratamento dos dados	9
3.2.1	MATLAB	9
3.3	CRSIDLab	11
3.4	Pré-processamento	13
3.4.1	Filtragem dos Sinais	13
3.4.2	Variáveis do ECG/PA	13
3.5	Espectro de Potência	14
3.5.1	Indicadores Quantitativos	15
3.6	Análise Estatística	15
3.6.1	Distribuição Normal dos Dados	16

4	Resultados Obtidos	18
4.1	Testes de Hipótese	18
4.1.1	Variabilidade da Frequência Cardíaca	18
4.1.2	Variabilidade da Pressão Arterial	19
4.2	Discussão	21
5	Conclusão	23
	Referências	25
	Apêndice	26
A	Código de Extração de Variáveis	27
B	Código de Exportação de Variáveis	28
C	Tabelas com Dados Calculados	29
C.1	Tabelas Referentes aos Dados Calculados de Variabilidade de Frequência Cardíaca	29
C.2	Tabelas Referentes aos Dados Calculados da Variabilidade da Pressão Arterial	31
D	Tabelas com Dados Utilizados	33
D.1	Tabelas Referentes aos Dados Utilizados da Variabilidade da Frequência Cardíaca	33
D.2	Tabelas Referentes aos Dados Utilizados da Variabilidade da Pressão Arterial	35

Lista de Figuras

2.1 Sistema nervoso simpático e parassimpático (com adaptações de [1]).	4
2.2 Estruturas do coração (reproduzido de [2]).	5
2.3 Sinal de onda da pressão arterial (reproduzido de [3]).	6
2.4 Ondas de um ECG representando o ritmo sinusal normal humano (reproduzido de [4]).	7
3.1 Sinais não convertidos.	10
3.2 Sinais convertidos e em escala	11
3.3 Tela de início CRSIDLab (retirada de [5]).	12
3.4 Sinais de ECG e PA após a detecção dos pontos: indivíduo f2o03.	13
3.5 Identificação de batimentos ectópicos indivíduo f2y09.	14
3.6 Densidade do espectro de potencia dada pelo método de Welch - CRSIDLab.	15
3.7 Exemplo de dados que passaram no teste de normalidade (LF absoluta para FC), (a). Exemplo de dados que não passaram no teste de normalidade, (b) (LF normalizada para PA).	17
4.1 Gráficos de barra das tabelas 4.1, 4.2 e 4.3: Primeiro gráfico, referente à média de LF de jovens e idosos; segundo gráfico referente à média de HF de jovens e idosos; terceiro gráfico referente à média da relação LF/HF de jovens e idosos.	19
4.2 Gráficos de barra das tabelas 4.4, 4.5 e 4.6: Primeiro gráfico referente à média de LF de jovens e idosos; segundo gráfico referente à média de HF de jovens e idosos; gráfico histograma referente à média da relação LF/HF de jovens e idosos; terceiro gráfico referente à tabela	20

Lista de Tabelas

3.1	Tabela de testes de normalidade que falharam - SigmaPlot.	16
4.1	Áreas Normalizadas LF da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.348)	18
4.2	Áreas Normalizadas HF da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.348).	19
4.3	Relação LF/HF de Áreas Normalizadas da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.850).	19
4.4	Áreas Normalizadas LF da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.059).	20
4.5	Áreas Normalizadas HF da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.059).	20
4.6	Relação LF/HF de Áreas Normalizadas da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou (P = 0.176).	20
C.1	Áreas Absolutas - VFC (ms^2)	29
C.2	Áreas Relativas - VFC	30
C.3	Áreas Normalizadas - VFC	30
C.4	Áreas Absolutas - VPA ($mmHg^2$)	31
C.5	Áreas Relativas - VPA	31
C.6	Áreas Normalizadas - VPA	32
D.1	Áreas Absolutas Utilizadas - FC (ms^2)	33
D.2	Áreas Relativas Utilizadas - FC	34
D.3	Áreas Normalizadas Utilizadas - VFC	34
D.4	Áreas Absolutas Utilizada - VPA ($mmHg^2$)	35
D.5	Áreas Relativas Utilizadas - VPA	36
D.6	Áreas Normalizadas Utilizadas - VPA	36

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

O sistema de controle da pressão sanguínea tem como principal função a manutenção de uma pressão suficiente para garantir o pleno e estável fornecimento de sangue e seus compostos (como oxigênio) a todos os órgãos e tecidos, mesmo quando houver distúrbios externos como atividades físicas ou mudanças de postura [6]. Diante o exposto, vale salientar que o sinal de pressão arterial contínuo não é uma variável constante, apresenta variabilidade na escala de minutos, horas, dias e até meses [7].

Esta pesquisa consiste em estudar a variabilidade presente no sinal de pressão arterial contínuo com o auxílio da análise espectral e sua relação com a variabilidade da frequência cardíaca. Todas as métricas citadas anteriormente são utilizadas para analisar o sistema nervoso autônomo (SNA), que é responsável por regular as atividades involuntárias do corpo humano como batimentos cardíacos, a pressão arterial e frequência respiratória.

Ainda hoje, mesmo conhecendo o funcionamento da pressão arterial, há uma lacuna de estudos que analisam os dados de VPA e suas possíveis interpretações fisiológicas. É possível perceber uma lacuna maior quando compara-se a quantidade de estudos relacionados à VPA com a quantidade de estudos de VFC, que vem sendo amplamente estudada desde o século XX, sendo, inclusive, pauta de padronizações para estudos [8].

1.2 Objetivos

O processamento digital de sinais e a identificação de sistemas são técnicas de aplicação da engenharia que permitem entender melhor problemas que circundam a medicina, possibilitando, assim, um entendimento mais detalhado de mecanismos como os do sistema nervoso autônomo. Disfunções neste sistema podem vir a ocasionar um maior risco

de mortalidade precoce em indivíduos que apresentam essas irregularidades. A obtenção de métricas quantitativas, a partir de sinais extraídos de forma não invasiva, do sistema nervoso autônomo como o eletrocardiograma (ECG), a pressão arterial contínua e a respiração contribuem para uma melhor análise e definição de fatores que podem levar à morte súbita [9]. O presente estudo objetiva estudar a variabilidade presente no sinal de pressão arterial contínua com o uso da análise espectral e sua relação com a variabilidade da frequência cardíaca. Para este estudo serão utilizados dados fisiológicos de voluntários e pacientes reais, disponíveis em bases de dados gratuitas hospedadas na internet.

A análise da variabilidade da pressão arterial (VPA) e da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) são utilizadas para descrever os comportamentos do SNA e evidenciar algumas de suas disfunções. Os barorreceptores controlam constantemente a pressão arterial (PA) e ao ocorrer mudanças de pressão, os barorreceptores são ativados. Uma vez que ambos os sinais de FC e PA são modulados pelo SNA, pode-se esperar uma relação entre a variabilidade da frequência cardíaca e a variabilidade da pressão arterial, e destas com a atividade respiratória [6]. Voluntários hipertensos tendem a ter uma maior variabilidade da PA de curta duração [10]. Para estudar esses sinais e seus respectivos comportamentos, o presente estudo utilizou de amostras de sinais contidos em uma base de dados de indivíduos considerados saudáveis e em estado de repouso, para evitar discrepância entre sinais de indivíduos que estariam em movimento. Por fim, este estudo tem como o objetivo de avaliar os resultados e análises estatísticas para evidenciar a conexão do envelhecimento e seus efeitos na variabilidade da pressão arterial,

1.3 Disposição do Texto

A organização deste estudo está dividida em:

- O capítulo 2 aborda a fisiologia do corpo humano no que diz respeito as funções do sistema nervoso autônomo, sistema cardiovascular, bem como as descrições dos sinais e suas respectivas técnicas de processamento.
- O capítulo 3 apresenta a base de dados e quais os métodos e ferramentas foram utilizados durante a realização da pesquisa.
- No capítulo 4, estão representados os resultados obtidos após a aplicação dos métodos que constam no capítulo anterior.
- No capítulo 5, é feita a discussão acerca dos resultados obtidos.
- O capítulo 6 elucida e faz a conclusão, apontando possíveis continuidades para essa pesquisa.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Fisiologia

2.1.1 Sistema Nervoso Autônomo

O SNA é um dos sistemas comandados pelo cérebro e representa a parte do sistema nervoso responsável pelas atividades involuntárias que regulam funções internas do corpo de forma autônoma, como o próprio nome sugere. Ele controla as atividades viscerais (órgãos internos) do corpo humano e por isso também é chamado de sistema nervoso visceral ou vegetativo. Pode-se encontrar como resultado de suas ações efeitos como: controle da temperatura corporal, aumentar ou diminuir a frequência cardíaca e a pressão sanguínea [11]. Os acontecimentos citados aqui visam regular as atividades do corpo e promover a homeostase do corpo humano, fazendo com que haja o equilíbrio nessas funções nas quais o SNA atua.

O sistema nervoso simpático e o parassimpático são duas subdivisões do SNA, podendo ter efeitos contrários em uma mesma área de atuação, vide figura 2.1. Ao atuar, continuamente, através dos ramos simpático e vagal(atuação do sistema parassimpático), o SNA visa manter a homeostase da FC. A ativação simpática e a desativação vagal contribuem para um aumento da frequência cardíaca. Ao inverter os papéis, é possível verificar uma diminuição na FC.

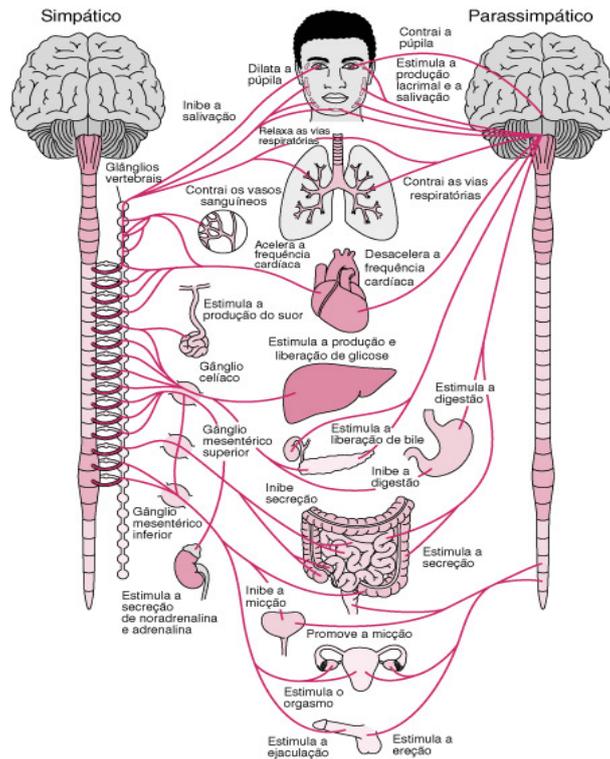


Figura 2.1: Sistema nervoso simpático e parassimpático (com adaptações de [1]).

Na parte a esquerda da figura 2.1, é possível visualizar o sistema nervoso simpático com seus neurônios da medula espinhal e os gânglios que inervam os órgãos internos. Em situações de estresse ou perigo, esse sistema é ativado numa grande velocidade podendo acelerar batimentos, em até 5 segundos, e dobrar a pressão arterial, entre 10 e 15 segundos após a ativação [12]. Na porção à direita da figura 2.1, pode-se observar a representação do nervo vago, que reveste uma boa parte do pulmão e agrega a grande maioria do estímulo parassimpático. Entender a posição e a atuação dessas partes do corpo são necessárias para entender o funcionamento do sistema cardiovascular.

2.1.2 Sistema Cardiovascular

A principal função do sistema circulatório é levar oxigênio e diversos nutrientes para os tecidos do corpo. O sistema circulatório, também chamado de cardiovascular, encontram-se os vasos sanguíneos, o sangue, o coração, órgão central que atua diretamente na circulação. É o coração que impulsiona o sangue para todo o corpo através de vasos chamados artérias e ele é dividido em 4 cavidades: 2 ventrículos e 2 átrios, conforme mostrado na imagem 2.2.

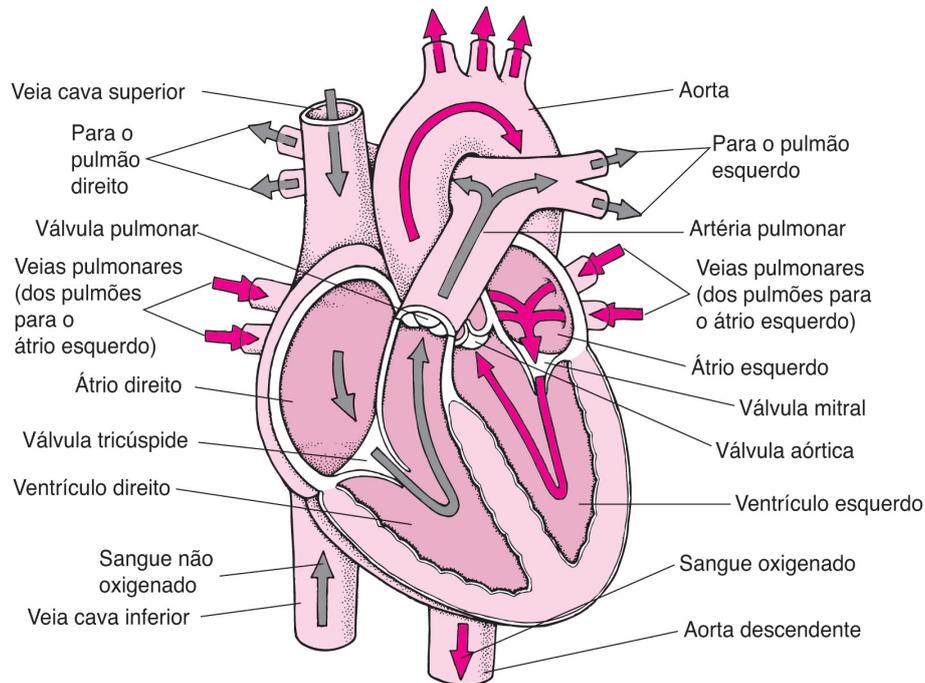


Figura 2.2: Estruturas do coração (reproduzido de [2]).

O pleno funcionamento do coração se faz possível graças a ação coordenada dos batimentos cardíacos. O nó sinusal, localizado na parte superior do átrio direito é responsável por gerar o impulso que dita o ritmo do coração e ao ser estimulado pelo SNA, comanda as contrações e descontrações. O ato de contração do coração é denominado de sístole e o relaxamento é chamado de diástole. Quando os átrios entram em sístole, bombeando sangue para os ventrículos, estes últimos se encontram em diástole. No momento em que os ventrículos estão contraídos para bombear sangue para fora do coração, os átrios se encontram em estado de relaxamento. Pode-se chamar o nó sinusal, então, de marca-passo natural do coração. Quando ocorrem batimentos cardíacos que não tenham sido estimulados por este marca-passo natural, estes são denominados batimentos ectópicos.

O sistema cardiovascular apresenta a circulação sistêmica e circulação pulmonar. No caso da circulação sistêmica, o sangue rico em oxigênio, também chamado de arterial, é bombeado pelo lado esquerdo do coração, começando no átrio, passando pelo ventrículo que saem pelas artérias em direção aos mais diversos tecidos e órgãos do corpo. Artérias, que possuem grande calibre, e arteríolas fazem o papel do transporte do sangue arterial. Para a circulação pulmonar, que ocorre no lado direito do coração, o sangue circula desde o átrio direito, ventrículo direito e vai até o pulmão, onde ocorrem as trocas gasosas para, assim oxigenar este sangue antes pobre em oxigênio, sangue venoso.

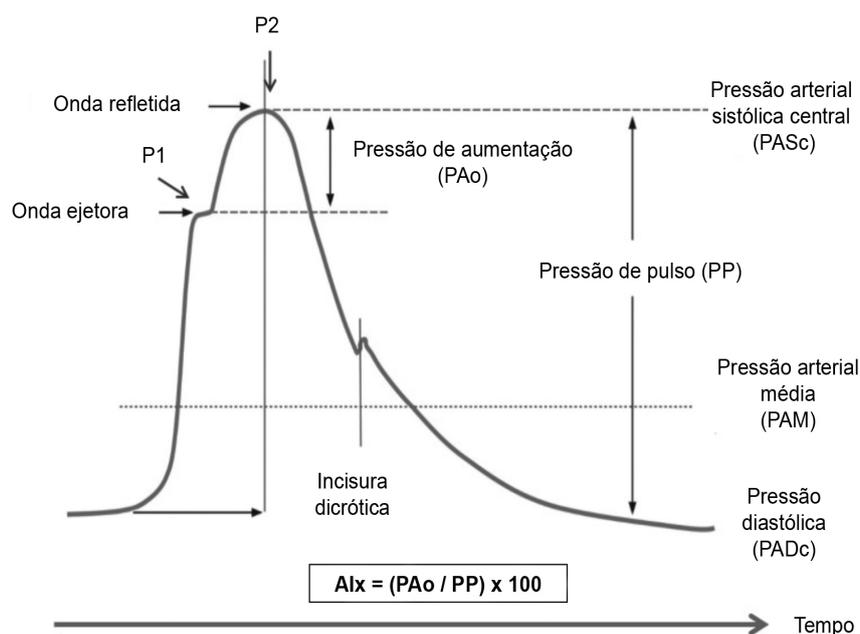


Figura 2.3: Sinal de onda da pressão arterial (reproduzido de [3]).

A pressão arterial tem sua unidade de medida o milímetro de mercúrio (mmHg) e é dada pela pressão que o sangue exerce nas paredes das artérias. Como é mostrado na figura 2.3, existem dois valores para a pressão: pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica, ocorrem quando o coração empurra sangue e relaxa, respectivamente. Os valores considerados normais para a pressão arterial humana é de 120 mmHg, na sistólica, e 80 mmHg, na diastólica [13]. Os estágios dos batimentos do coração estão relacionados diretamente com os estágios da pressão arterial e os sinais que medem a frequência com que esses batimentos podem conter informações complementares às informações da PA.

2.1.3 Eletrocardiograma - ECG

O eletrocardiograma é processo que grava os sinais de atividade elétrica durante a polarização e despolarização do miocárdio. Para isso, são posicionados eletrodos na pele de um indivíduo afim de captar esses sinais. Costuma-se dizer que o eletrocardiograma é um gráfico que reflete o comportamento do coração nesses ciclos de polarização e repolarização, podendo servir para a análise da capacidade mecânica deste órgão e seu funcionamento.

Cada curva no sinal de ECG representa um momento no qual o coração se encontra e resume os eventos do ciclo cardíaco. Para melhor visualização, a figura 2.4 elucida cada momento que deve ser observado:

- P: momento de despolarização atrial.

- Complexo QRS: despolarização do ventrículo (o tamanho da sua onda suprime a onda de repolarização do átrio).
- T: repolarização do ventrículo.

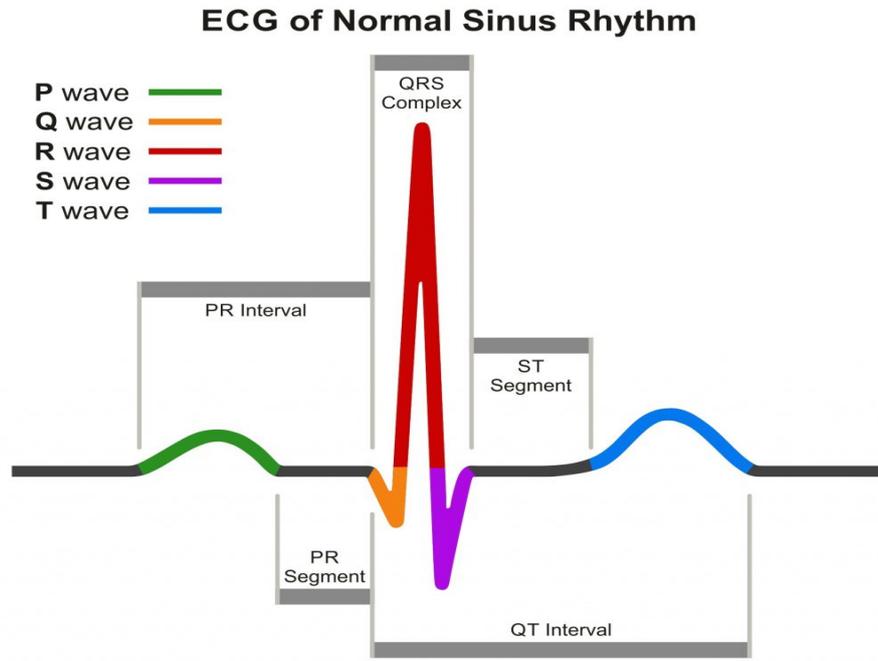


Figura 2.4: Ondas de um ECG representando o ritmo sinusal normal humano (reproduzido de [4]).

No ECG, um dos pontos mais importantes se localiza no pico R, pois, é o ponto com maior amplitude no sinal de ECG, o que facilita a identificação e marcação do intervalo R-R (IRR). O IRR é utilizado para calcular a frequência cardíaca, devido a sua facilidade de identificação [14].

2.2 Variabilidade da Frequência Cardíaca

Como citado anteriormente, para calcular a frequência cardíaca é utilizado o intervalo R-R, portanto, para calcular variabilidade da frequência cardíaca (VFC), deve-se calcular a variação da duração desses intervalos. A série IRR não é um sinal contínuo igualmente amostrado, mas sim uma série de eventos [14], fator que deve ser levado em consideração durante a análise no domínio da frequência. A relação entre VFC e o SNA ocorre pelo nodo sinoatrial, responsável por dar início ao ciclo do batimento cardíaco, já o parassimpático atua na desaceleração dessa taxa. Tendo isso em vista, anormalidades na variabilidade da frequência cardíaca podem indicar um funcionamento incorreto do SNA.

2.3 Variabilidade da Pressão Arterial

A variação ciclo a ciclo da pressão arterial corresponde à VPA, que varia em torno de um valor médio, como a VFC. Um aumento na VPA associado a hipertensão tem sido estudado e correlacionado com eventos como acidente vascular cerebral e eventos coronários [15]. O aumento da VPA também foi associado a redução da sensibilidade dos reflexos arteriais e cardiopulmonares [16]. É necessário ressaltar que existem diferentes maneiras de mensurar os intervalos de tempo e, assim, definir a VPA. Diferentemente da VFC, não há uma padronização para isso.

2.4 Análise Espectral e Densidade do Espectro de Potência

Para que seja feita a estimação da densidade espectral de potência, é necessário que as variáveis sejam redimensionadas e alinhadas no tempo e o sinal deve ter duração finita. A densidade do espectro de potência mostra como a potência de um determinado sinal está distribuída no espectro da frequência. Nesta seção, também será descrito o método de análise espectral utilizado neste estudo: o método de Welch.

2.4.1 Método de Welch

O método de Welch é baseado no método de Fourier e produz um resultado mais suave que ele por fazer a divisão de segmentos e aplicar a transformada rápida de Fourier (FFT), fórmula, e quantificar o quadrado da magnitude em cada um desses segmentos. Ao final, o espectro é determinado pela média dos espectros de cada segmento. Portanto, obtém-se uma estimativa mais suave da densidade do espectro de potência quando comparado com o uso apenas da Transformada Discreta de Fourier (DFT), demonstrada na equação 2.1.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} \quad (2.1)$$

Em que n é elemento corrente, N é o último elemento da amostra, $X[k]$ é o elemento após passar pela transformada de Fourier e k é o correspondente de n no domínio da frequência.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Dados

A plataforma *Physionet* [17] apresenta uma vasta quantidade de base de dados com sinais fisiológicos e como não seriam realizadas coletas de dados em pessoas, esta é uma maneira confiável de obter este tipo de dado. Após algumas pesquisas, decidiu-se, então, por utilizar a base de dados *Fantasia* [18] na qual é possível encontrar dois grupos, com idades diferentes, de voluntários monitorados continuamente em repouso e durante um período de 120 minutos em uma exibição do filme *Fantasia* [19], nome esse que veio a ser colocado na própria base de dados. A escolha da base de dados *Fantasia* se deu principalmente pelos dados nela contida e por ser uma base de dados conceituada, muito utilizada nos últimos anos por diversos artigos. Os principais sinais disponibilizados nesta base de dados são o eletrocardiograma, sinais de respiração em monitoramento contínuo, não invasivo e os sinais descalibrados de pressão arterial. Todos os indivíduos escolhidos são considerados saudáveis.

3.2 Tratamento dos dados

3.2.1 MATLAB

Como a ferramenta escolhida para o pré-processamento destes dados foi o MATLAB, realizou-se o download de 3 arquivos diferentes para cada voluntário:

- Formato *.mat*: que contém 3 vetores diferentes, onde foram amostrados os sinais de respiração, ECG e pressão arterial.
- Arquivo *.info*: aqui pode-se encontrar as informações específicas que descrevem os sinais amostrados no arquivo anterior. Informações muito importantes como: frequên-

cia das amostras, intervalo de amostragem, duração total, base do sinal, ganho e unidades dos respectivos sinais.

- Formato *.head*: informações como a idade exata e o sexo biológico dos voluntários.

O software MATLAB foi utilizado durante todo este estudo como principal ferramenta de manipulação, processamento e exportação de dados. Após carregar os arquivos *.mat* para o MATLAB, é feita extração de todas as variáveis que serão utilizadas no estudo, bem como a separação dos dados de respiração, ECG e pressão arterial. Seguindo as informações do arquivo *.info*, foi possível obter esses valores. O trecho de código utilizado para esta extração de dados encontra-se no apêndice A.

Pode-se verificar no plot destes gráficos da figura 3.1 que a escala de magnitude correta não é representada:

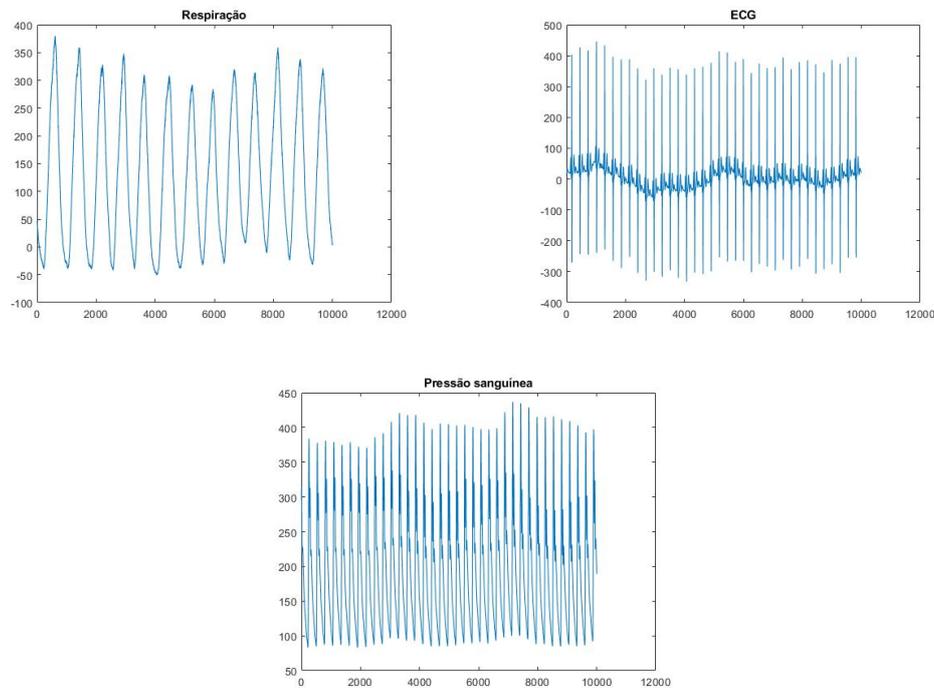


Figura 3.1: Sinais não convertidos.

Agora, utilizando as informações contidas no arquivo obtido e com extensão *.info*, é possível converter os dados para unidades físicas utilizando as informações de base e ganho. O código utilizado para converter os valores amostrados dos sinais para unidades físicas encontra-se no apêndice B. Os valores para o ganho e a base representam o voluntário idoso (f2o09).

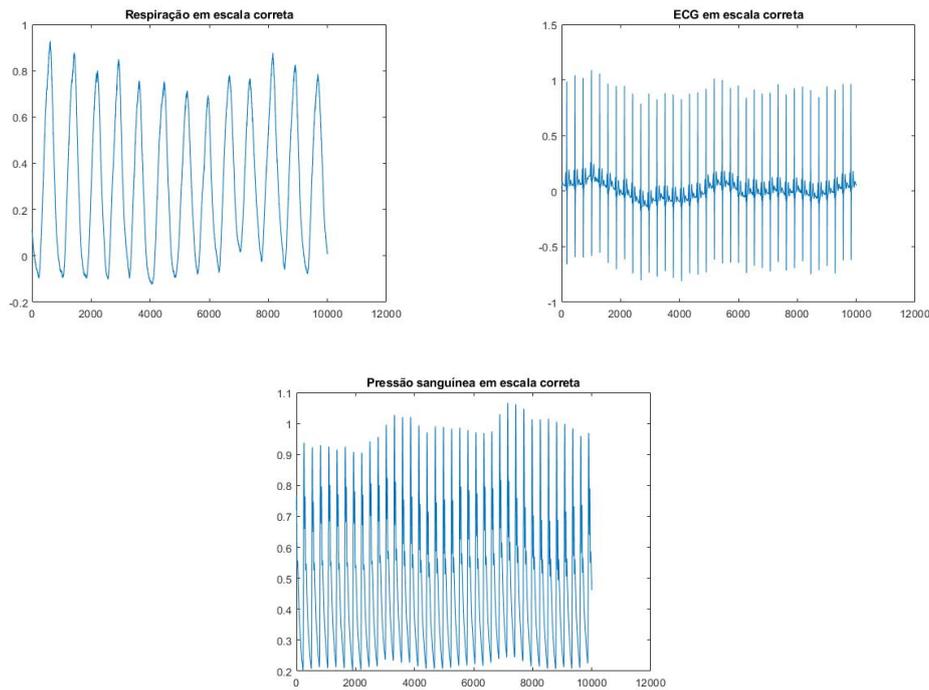


Figura 3.2: Sinais convertidos e em escala

Uma variável importante para os próximos passos é a *TimeVec*. Ela é obtida através do código, também listado no apêndice B, que também gera um arquivo com todas as variáveis já processadas anteriormente.

Todas estas variáveis foram criadas e salvas para serem importadas em um ambiente fundamental no pré-processamento e no início das análises, o CRSIDLab.

3.3 CRSIDLab

O CRSIDLab [5] é, em um breve resumo, uma toolbox para MATLAB criada para processamento de pressão contínua de pressão arterial, eletrocardiograma e respiração. Como uma ferramenta bem intuitiva, já na primeira etapa, é possível criar um *patient file* dentro da toolbox. Este arquivo terá armazenado toda a importação dos dados extraídos e convertidos nas etapas anteriores. É importante atentar-se ao nome das variáveis criadas, para que ocorra a importação correta e o devido reconhecimento pelo software. Esta funcionalidade é muito importante, pois, ao criar um *patient file*, são armazenadas todas as mudanças feitas nestes dados e recarregá-las em outra sessão, sem a necessidade de rodar os algoritmos de processamento novamente.

Aqui é feita, também, a escolha dos trechos a serem amostrados e suas durações. Foram escolhidos 5 minutos (300 segundos) dos sinais de cada um dos 20 sujeitos porque a

observação de trechos curtos é vinculada a resultados confiáveis para caracterizar componentes de VPA e VFC com períodos menores que 1 minuto [6]. Por outro lado, trechos muito grandes, maiores que 5 minutos, poderiam estar sujeitos a mudanças biológicas por motivos externos ou internos. Afim de evitar possíveis interferências e artefatos devido à movimentações dos voluntários ou do posicionamento dos aparelhos de medição dos sinais de PA, ECG e respiratório.

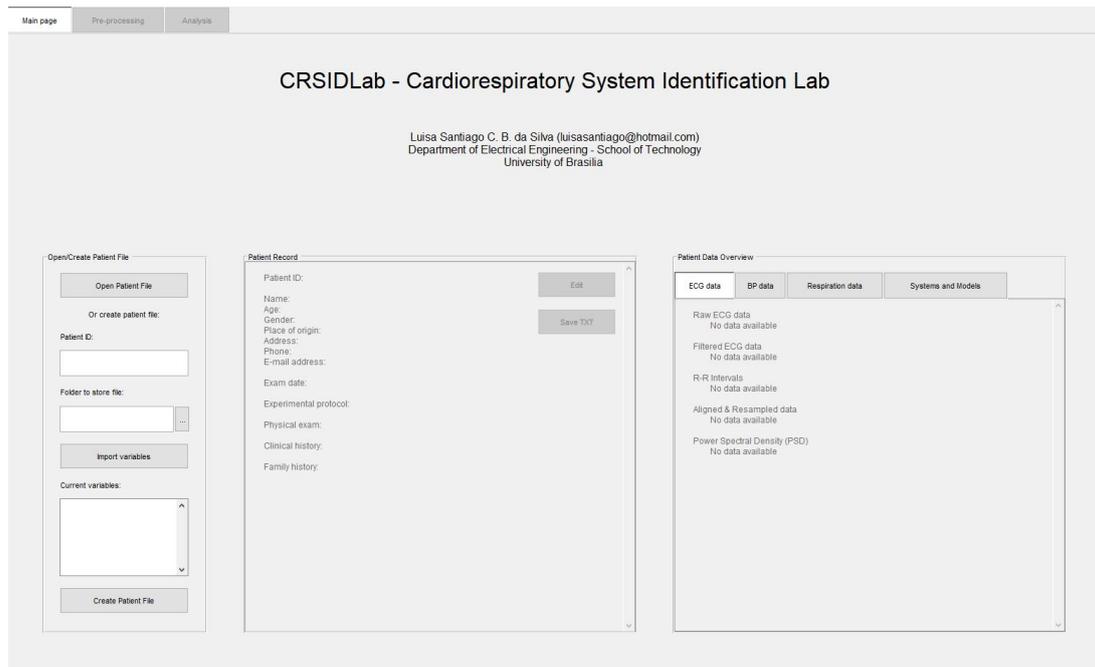


Figura 3.3: Tela de início CRSIDLab (retirada de [5]).

[5]

Antes de prosseguir, foi feita uma primeira inspeção visual para evitar dar continuidade ao pré-processamento com sinais que não estejam em condições suficientes para análise. Nesse primeiro momento, o indivíduo f2o05 foi retirado da lista, pois, o sinal de ECG não estava inteiro o suficiente para dar prosseguimento, não sendo possível identificar os picos R.

Etapas CRSIDLab:

- Criação *patient file*.
- Pré-processamento: Filtragem PA e ECG; Extração de Variáveis da PA e ECG; Redimensionamento dos dados.
- Análise: Determinação da Densidade espectral de potência.

3.4 Pré-processamento

3.4.1 Filtragem dos Sinais

Essa ferramenta do CRSIDLab é de grande utilidade para eliminar ruídos indesejáveis que possam vir a prejudicar o pré-processamento.

Tipo de filtro disponíveis:

- Notch - utilizado para eliminar interferência da rede de 60 Hz.
- Passa-altas - tem a finalidade de atenuar oscilações contidas na linha de base do sinal.
- Passa-baixas - elimina altas frequências que podem ser provenientes de músculos que não pertençam ao coração.

Porém, recomenda-se ao máximo que seja evitada a aplicação de filtros para não suprimir certas características importantes e gerar distorções na onda. Após uma verificação visual, concluiu-se que não havia a necessidade de utilizar qualquer um dos filtros para eliminar ruídos dos sinais amostrados.

3.4.2 Variáveis do ECG/PA

Ao rodar o algoritmo de detecção lenta, os picos R são marcados automaticamente ao longo de toda a amostra, enquanto isso, os pontos de pressão sistólica e diastólica são marcados no sinal de pressão arterial. Novamente, é feita uma inspeção visual para verificar se todos os pontos foram marcados corretamente, tendo em vista que nenhum algoritmo é perfeito.

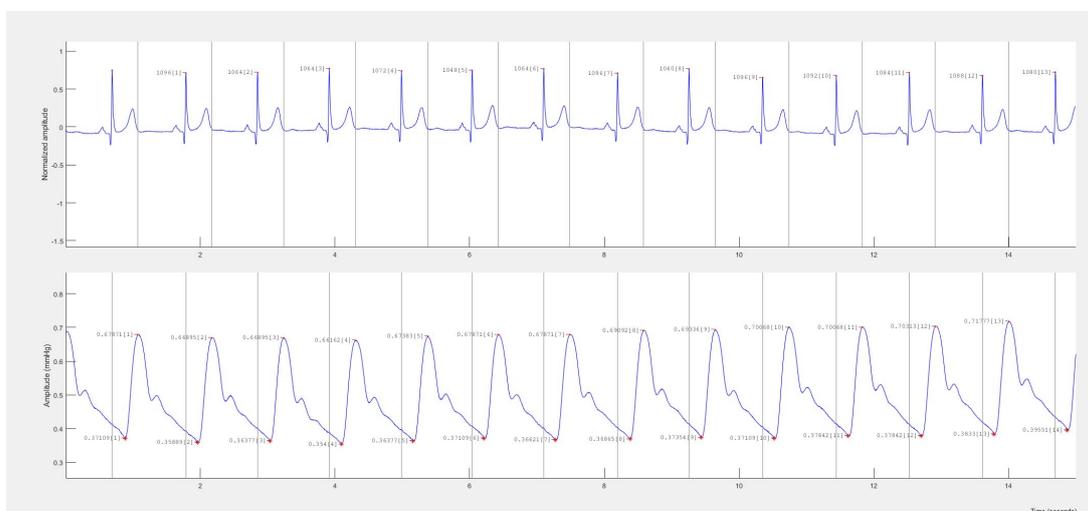


Figura 3.4: Sinais de ECG e PA após a detecção dos pontos: indivíduo f2o03.

Por fim, é feita uma marcação manual com o objetivo de marcar os pontos dos batimentos ectópicos e realizar a contagem deles. Posteriormente, os batimentos ectópicos serão substituídos. Mais uma vez, foi necessário remover os dados de mais um sujeito das análises deste estudo porque continha um número muito grande de batimentos ectópicos e isso desbalancearia o *data set*. O indivíduo f2y09 apresentou 44 marcações ectópicas em um curto período de 5 minutos.

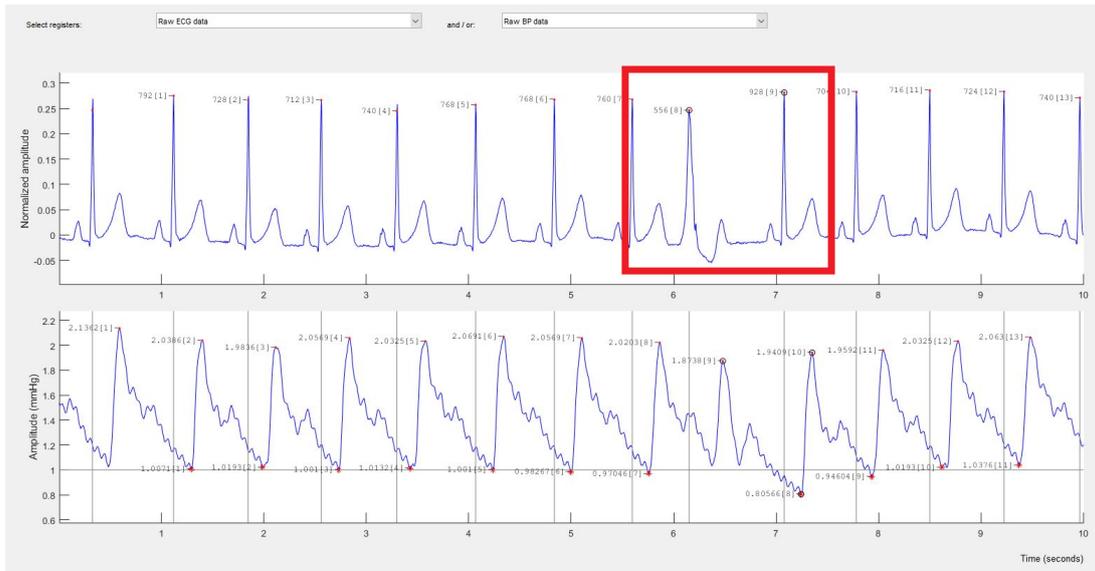


Figura 3.5: Identificação de batimentos ectópicos indivíduo f2y09.

3.5 Espectro de Potência

Após reamostrar as duas séries IRR e PAS, a partir do sinal de respiração (ILV), porque elas possuem espaçamento desigual no tempo, foi utilizada a análise no domínio da frequência com base na densidade espectral de potência (DEP). Como dito no capítulo da fundamentação teórica, a DEP do IRR e PAS correspondem à VFC e VPA, respectivamente. O método escolhido foi o de Welch por refletir melhor as características de um sinal e ter maior confiabilidade estatística do que quando comparado com o método de Fourier [20]. Ao utilizar o CRSIDLab, é possível escolher o número de amostras de cada segmento e quantidade de amostras sobrepostas, bem como o número de pontos para nos quais serão utilizados para aplicar a FFT.

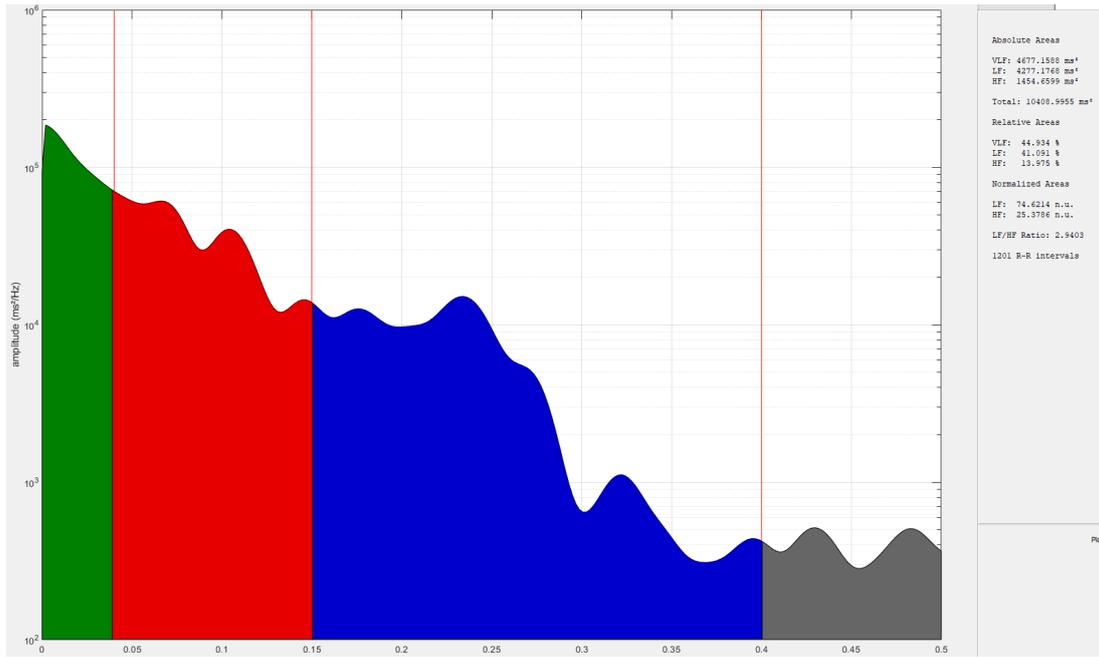


Figura 3.6: Densidade do espectro de potencia dada pelo método de Welch - CRSIDLab.

3.5.1 Indicadores Quantitativos

Os indicadores quantitativos apresentados na figura 3.6 são VLF, LF e HF, que correspondem à frequência muito baixa, baixa frequência e alta frequência, respectivamente.

As bandas de frequências utilizadas para análises de curtos períodos da VFC, como definidas como padrão [8], são:

- VLF: 0-0,04 Hz (cor verde na figura 3.6).
- LF: 0,04-0,15 Hz (cor vermelha na figura 3.6).
- HF: 0,15-0,4 Hz (cor azul na figura 3.6).

As áreas apresentadas na figura 3.6 são compostas por: potência relativa, dada em porcentagem quando comparada com a potência total; área de potência absoluta, dada por unidade quadrada; potência normalizada de HF e LF, respeitando a regra de $LF_n + HF_n = 100$.

3.6 Análise Estatística

Com o auxílio do Software Sigmaplot, foram feitas as análises estatísticas. Depois de realizar o pré-processamento dos 18 indivíduos foram obtidos os resultados listados nas tabelas do apêndice C.

Conforme é mostrado em vermelho nas tabelas do apêndice C, os dados dos indivíduos f2o05 e f2y09 não terão seus resultados considerados porque foram excluídos durante a fase

de pré-processamento. Vale salientar aqui, também, que todos sinais foram amostrados em um período de 5 minutos (300 segundos), portanto, as VLF's não constarão nas análises do presente estudo porque os períodos dessas frequências são grandes o bastante para não demonstrar confiabilidade e amostras o suficientes num intervalo de 5 minutos. Nas tabelas apresentadas no apêndice D, tem-se os dados que poderão ser analisados neste estudo.

3.6.1 Distribuição Normal dos Dados

O primeiro passo para prosseguir com a análise é realizar o teste de normalidade para verificar se os dados a serem estudados têm uma distribuição normal. O teste Shapiro-Wilk é muito utilizado para verificar a distribuição normal de um data set e foi escolhido para esta finalidade. As áreas absolutas de LF, HF e LF/HF, tanto da VFC quanto da VPA, não passaram nos testes de normalidade.

Shapiro-Wilk test:

Tabela 3.1: Tabela de testes de normalidade que falharam - SigmaPlot.

		W-Statistic	P
HR	Áreas Absolutas de LF	0,727	<0,001
	Áreas Absolutas de HF	0,535	<0,001
	Áreas Normalizadas de LF/HF	0,760	<0,001
SBP	Áreas Absolutas de LF	0,597	<0,001
	Áreas Absolutas de LF	0,604	<0,001
	Áreas NormalizadaS de LF/HF	0,459	<0,001

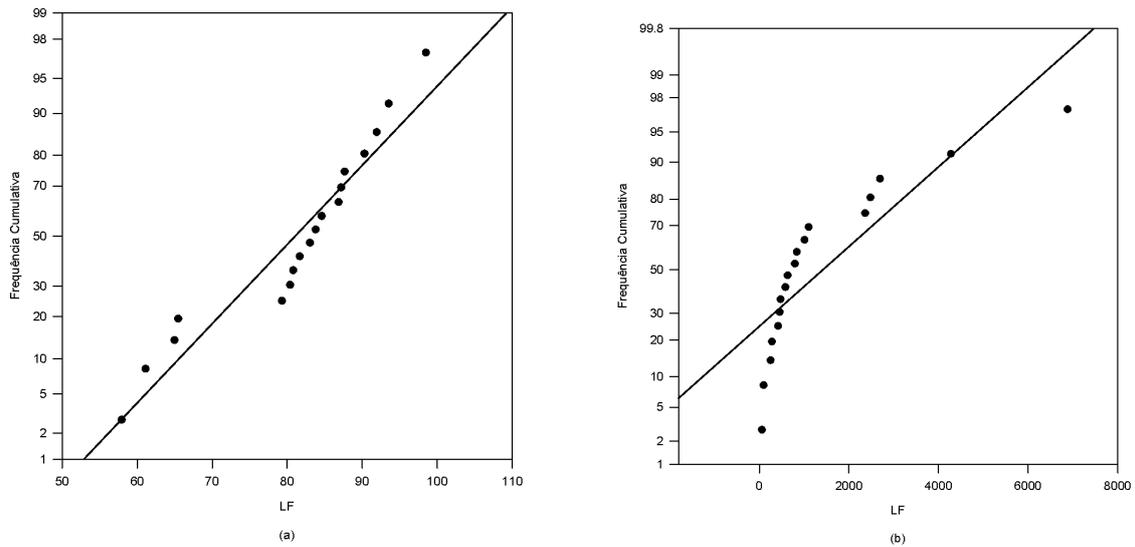


Figura 3.7: Exemplo de dados que passaram no teste de normalidade (LF absoluta para FC), (a). Exemplo de dados que não passaram no teste de normalidade, (b) (LF normalizada para PA).

Depois da constatação dos testes de normalidade que falharam na tabela 3.1, foi aplicada uma transformada sobre os dados afim de atingir uma distribuição normal entre as amostras. Essa transformada visa potencializar os testes que serão realizados nas amostras para obter resultados mais confiáveis.

Capítulo 4

Resultados Obtidos

4.1 Testes de Hipótese

Aqui, encontram-se os resultados da análise estatística dos indicadores quantitativos apresentados no capítulo anterior. Portanto, neste capítulo, são elucidadas e discutidas as observações da correlação entre esses mesmos indicadores. A pesquisa visa avaliar os resultados e análises estatísticas para evidenciar a conexão do envelhecimento e seus efeitos na variabilidade da pressão arterial, juntamente a variações da frequência cardíaca.

4.1.1 Variabilidade da Frequência Cardíaca

Os resultados para os testes de hipótese dos índices da VFC estão descritos na tabela 4.1, 4.2 e 4.3. As tabelas com os resultados demonstram que não há uma grande variação na média tanto das frequências de LF e HF, bem como na relação entre elas quando compara-se o grupo dos idosos com o grupo dos jovens.

Tabela 4.1: Áreas Normalizadas LF da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.348$)

	Quantidade	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	64.832	16.411
Idosos	9	66.814	15.771

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.797$).

Tabela 4.2: Áreas Normalizadas HF da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.348$).

	Quantidade	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	35.168	16.411
Idosos	9	33.186	15.771

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.797$).

Tabela 4.3: Relação LF/HF de Áreas Normalizadas da FC - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.850$).

	Quantidade Voluntários	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	0.287	0.316
Idosos	9	0.350	0.357

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.701$).

As diferenças nos valores médios entre os grupos de tratamento não são grandes o suficiente para excluir a possibilidade de que a diferença seja devida à variabilidade da amostragem, não há uma diferença estatística significativa entre os dois grupos quando a variável é a VFC.

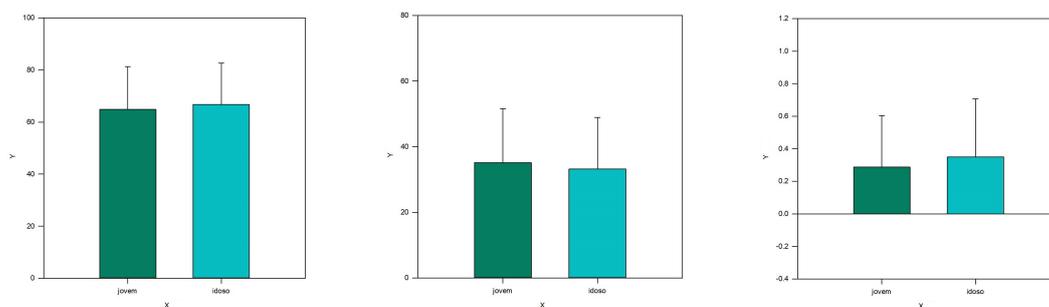


Figura 4.1: Gráficos de barra das tabelas 4.1, 4.2 e 4.3: Primeiro gráfico, referente à média de LF de jovens e idosos; segundo gráfico referente à média de HF de jovens e idosos; terceiro gráfico referente à média da relação LF/HF de jovens e idosos.

4.1.2 Variabilidade da Pressão Arterial

Assim como nos resultados referentes a VFC, os testes de hipótese não apontaram diferenças do ponto de vista estatístico, quando comparado o grupo de jovens com o grupo de idosos. Novamente, as tabelas são detalhadas com seus respectivos valores de mediana

e desvio padrão e indicam que o envelhecimento pode não influenciar na variabilidade da pressão arterial.

Tabela 4.4: Áreas Normalizadas LF da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.059$).

	Quantidade	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	81.635	11.162
Idosos	9	80.454	12.443

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.835$).

Tabela 4.5: Áreas Normalizadas HF da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.059$).

	Quantidade	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	18.365	11.162
Idosos	9	19.546	12.443

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.835$).

Tabela 4.6: Relação LF/HF de Áreas Normalizadas da PA - Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Passou ($P = 0.176$).

	Quantidade	Média	Desvio Padrão
Jovens	9	0.709	0.310
Idosos	9	0.735	0.486

Não há diferença estatística significativa ($P = 0.893$).

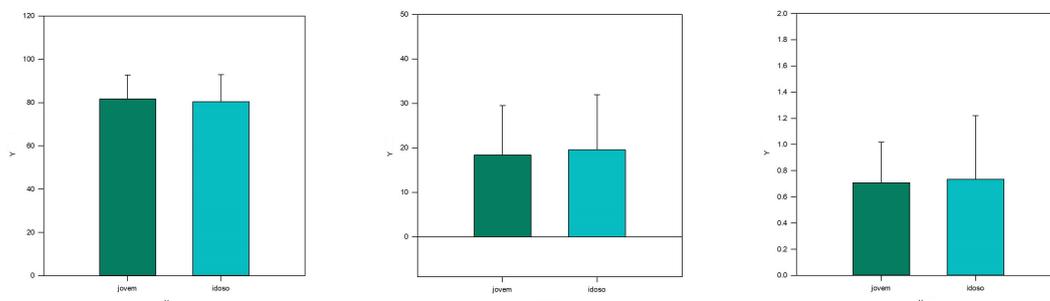


Figura 4.2: Gráficos de barra das tabelas 4.4, 4.5 e 4.6: Primeiro gráfico referente à média de LF de jovens e idosos; segundo gráfico referente à média de HF de jovens e idosos; gráfico histograma referente à média da relação LF/HF de jovens e idosos; terceiro gráfico referente à tabela

Portanto, os resultados da análise estatística feita entre os grupos de voluntários jovens e idosos não aponta uma perda significativa na perda das funções do sistema autônomo, responsável por modular tanto os sinais da PA quanto os sinais da FC.

4.2 Discussão

O corrente capítulo discute os resultados apresentados no capítulo 4, Resultados Obtidos, ponderando estes mesmos resultados com exposição de suas interpretações fisiológicas. Ao fazer uso da análise no domínio da frequência dos sinais de ECG e da pressão arterial contínua, este trabalho visou estudar a variabilidade presente nesse sinal de pressão arterial, juntamente da variabilidade da frequência cardíaca e expor possíveis alterações no sistema que controla essas funções, SNA, que puderam vir a aparecer em decorrência da idade.

Ao interpretar os dados, alguns fatores devem ser levado em consideração:

- O estudo foi feito em amostras de sinais com duração de apenas 5 minutos.
- Os indivíduos analisados, apesar de estarem distribuídos em dois grupos de faixas-etárias diferentes, são considerados saudáveis e estão em posição de repouso.
- A quantidade de indivíduos analisados é de dezoito pessoas, nove em cada grupo de idade.

De acordo com os testes de hipótese realizados, não foi encontrada uma diferença grande o suficiente entre a média das variações de pressão arterial de idosos e jovens. Porém, ainda não é possível levantar a hipótese de que, para indivíduos saudáveis, o envelhecimento não altera significativamente tanto as altas como baixas frequências nas VPA, VFC e razão entre LF/HF dos indivíduos tendo em vista que ao método espectral não é sensível o suficiente para detectar essas diferenças. Contudo, são necessários estudos mais amplos no que diz respeito ao acompanhamento de longo prazo desses sujeitos, porque janelas de amostras de 5 minutos podem não entregar um panorama completo do estado de saúde dessas pessoas em suas atividades cotidianas. Conforme literatura sobre Análise Espectral e Hipertensão [21] explica, as análises da VFC e VPA são ferramentas de grande importância para conjecturar os mecanismos que regulam o sistema cardiovascular, por isso, nada mais promissor que um acompanhamento sazonal de indivíduos do que apenas uma análise em cima de uma coleta pontual de dados.

A base de dados *Fantasia* [18] possuía dados de ECG, pressão contínua e respiração de 20 pessoas, mas apenas dezoito puderam ser utilizados porque os outros dois apresentaram problemas na qualidade do sinal, o que prejudicaria o grau de confiança das análises

estatísticas abordadas. Grupos maiores e com maior duração de amostras podem fornecer resultados ainda mais confiáveis e conclusivos, tendo em vista que sinais como os de VLF, de frequências muito baixas, não precisariam ser deixados de lado [21] mesmo depois de calculados. Os resultados foram considerados satisfatórios e confirmam estudos prévios que usaram metodologias e linhas de pesquisas parecidas [22].

Capítulo 5

Conclusão

Este estudo foi dividido em quatro etapas para facilitar a decomposição do problema acerca da variabilidade da pressão arterial. A contextualização aponta os conhecimentos que foram levantados para o entendimento da fisiologia do corpo humano no que diz respeito às funções do sistema nervoso autônomo central e suas implicações no funcionamento e modularização dos sinais até aqui estudados. Durante a construção da fundamentação teórica, é possível visualizar a delimitação da abordagem que foi feita durante a pesquisa, bem como a definição de quais ferramentas serviriam de apoio para a execução das atividades. O pré-processamento, aliado aos conhecimentos levantados durante as etapas anteriores, fez com que o trabalho pudesse utilizar de métricas e estabelecer padrões para que a base de dados *Fantasia* [18] fosse utilizada corretamente e seus dados processados de forma confiável como ponto de apoio para as interpretações feitas durante a discussão.

O CRSIDLab [5] foi uma ferramenta de extrema importância para o desenvolvimento desta pesquisa, vale ressaltar que, como se trata de uma toolbox desenvolvida dentro da Universidade de Brasília, ainda pode receber incrementos para poder disponibilizar novas métricas que auxiliem no desenvolvimento de pesquisas semelhantes a essa.

Falando do primeiro capítulo desse estudo, um importante tópico merece ser parafraseado: ainda há uma grande quantidade de estudos que podem explorar o tema da variabilidade da pressão arterial, tendo em vista que este assunto ainda não é alvo de estudos de forma ampla como os estudos da variabilidade da frequência cardíaca. Como mencionado pela Luisa Santiago, em sua dissertação de Mestrado [22], a abordagem de identificação de modelo de sistema traz a possibilidade de modelar as influências respiratórias e da pressão arterial na, então, VFC. Quanto aos aspectos encontrados neste trabalho, foi apontado que, apesar de sofrer mudanças com o envelhecimento, a forma com que o corpo lida com as funções reguladoras de homeostase faz com que isso, por si só, não provoque uma mudança na variabilidade da pressão arterial sistólica. Lembrando que os objetos de estudo estão em grupos de idades diferentes, mas são considerados in-

divíduos saudáveis. Apesar de terem sido utilizados quase todos os dados passivos de serem analisados na base de dados escolhida, este trabalho indica a possibilidade de uma continuidade destes estudos com grupos maiores e intervalos de tempo mais abrangentes para complementar as constatações deste mesmo estudo. Juntando os possíveis incrementos à toolbox CRSIDLab com a ideia de se estudar grupos maiores e com amostras de tempos maiores, variáveis como o sinal da respiração podem conferir constatações que agreguem ainda mais a este campo de pesquisa.

Referências

- [1] Low, Phillip: “*Introducción al sistema nervioso autónomo*”. 2020. ix, 4
- [2] Shea, Jessica I. Gupta ; Michael J.: *Biologia do coração*. 2020. <https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-do-cora%C3%A7%C3%A3o-e-dos-vasos-sangu%C3%ADneos/biologia-do-cora%C3%A7%C3%A3o-e-dos-vasos-sangu%C3%ADneos/biologia-do-cora%C3%A7%C3%A3o>. ix, 5
- [3] Husmann M, Jacomella V, Thalhammer C Amann Vesti BR. M: *Markers of arterial stiffness in peripheral arterial disease*. *Vasa*. 2015;44(5):341-8. ix, 6
- [4] Barros, F.: *ECG of normal sinus rhythhm*. <https://proffelipebarros.com.br/eletrocardiograma-e-anormalidades-cardiacas/>. ix, 7
- [5] SILVA, L. S. C. da; OLIVEIRA, F. M. G.: *Crsidlab: A toolbox for multivariate autonomic nervous system analysis using cardiorespiratory identification*. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, IEEE*, v. 24, n. 3, p. 728–734, doi: 10.1109/JBHI.2019.2914211. 2020. ix, 11, 12, 23
- [6] G. Parati, J. P. Saul, M. Di Rienzo e G. Mancia.: *Spectral analysis of blood pressure and heart rate variability in evaluating cardiovascular regulation: a critical appraisal* Vol. 25, n. 6, pp. 1276-1286. 1995. 1, 2, 12
- [7] Höcht., C.: *Blood pressure variability: prognostic value and therapeutic implications*, vol. 2013, p. 16. 2013. 1
- [8] *Força-Tarefa da Sociedade Europeia de Cardiologia e da Sociedade Norte-Americana de Estimulação e Eletrofisiologia*,. 1996. 1, 15
- [9] G. A. Myers, G. J. Martin, N. M. Magid P. S. Barnett J. W. Schaad J. S. Weiss M. Lesch e D. H. Singer: “*Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death: comparison to other methods*”. 1986. 2
- [10] G. Mancia, A. Ferrari, L. Gregorini G. Parati G. Pomidossi G. Bertinieri G. Grassi M. di Rienzo A. Pedotti e A. Zanchetti.: *Blood pressure and heart rate variabilities in normotensive and hypertensive human beings*, vol. 53, pp. 96-104. 1983. 2
- [11] LANGLEY, J. N.: *The autonomic nervous system*. *Brain, Oxford Univ Press*, v. 26, n. 1, p. 1–26. 1903. 3
- [12] J. HALL, A. GUYTON: *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 2011. <https://books.google.com.br/books?id=X491kgEACAAJ>. 4

- [13] VASAN, R. S.; LARSON, M. G.; LEIP E. P.; EVANS J. C.; O'DONNELL C. J.; KANNEL W. B: *Impact of high-normal blood pressure on the risk of cardiovascular disease. New England Journal of Medicine, Mass Medical Soc, v. 345, n. 18, p. 1291-1297.* 2001. 6
- [14] KUUSELA, T.: *Methodological aspects of heart rate variability analysis. In: Heart rate variability (HRV) signal analysis: Clinical applications. [S.l.]: CRC Press, 2012. p. 9-42.* 7
- [15] Choi, H. J.: *Blood Pressure Variability and Its Management in Hypertensive Patients,* " *Korean Journal of Family Medicine, vol. 33, no. 6, pp. 330-335.* 2012. 8
- [16] G. Parati, J. E. Ochoa, P. Salvi C. Lombardi e G. Bilo: *Prognostic Value of Blood Pressure Variability and Average Blood Pressure Levels in Patients with Hypertension and Diabetes,* " *Diabetes Care, vol. 36, no. 2, pp. S312-S324.* 2013. 8
- [17] Computational Physiology, MIT Laboratory for: *Physionet.* 2000. <https://physionet.org/>. 9
- [18] Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L Hausdorff JM Ivanov PCh Mark RG Mietus JE Moody GB Peng C K Stanley HE. *PhysioBank PhysioToolkit e PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation 101(23):e215-e220.* 2000. <https://archive.physionet.org/physiobank/database/fantasia/>. 9, 21, 23, 27
- [19] Ben Sharpsteen, James Algar, Wilfred Jackson: *Fantasia.* 1940. 9
- [20] Semmlow, J. L. e B. Griffel: *"Spectral Analysis: Classical Methods," in Biosignal and Medical Image Processing, Boca Raton, CRC Press, pp. 77-118.* 2014. 14
- [21] PARATI, G.; SAUL, J. P.; RIENZO M. D.; MANCIA G: *CSpectral analysis of blood pressure and heart rate variability in evaluating cardiovascular regulation: a critical appraisal. Hypertension, Am Heart Assoc, v. 25, n. 6, p. 1276-1286.* 1995. 21, 22
- [22] Silva. Luisa Santiago Contreiras Brito da, Dr.a Flavia Maria Guerra de Sousa Aranha Oliveira: *QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM: TOOLBOX DEVELOPMENT AND APPLICATION.* 2017. 22, 23

Apêndice A

Código de Extração de Variáveis

Nesse apêndice descritos os códigos utilizados na extração de dados, sinais e variáveis provenientes da base de dados *Fantasia* [18]

```
1 % Frequencia de amostragem
2 fs = 250;
3
4 % Vetor contendo as amostragens do sinal
5 % de respiracao
6 resp = val(1,:);
7
8 % Vetor contendo as amostragens do sinal do ECG
9 ecg = val(2,:);
10
11 % Vetor contendo as amostragens do sinal de
12 % pressao arterial
13 bp = val(3,:);
14
15 figure;
16 plot(resp(100000:110000));
17 title('Respiracao');
18 figure;
19 plot(ecg(100000:110000));
20 title('ECG');
21 figure; plot(bp(100000:110000));
22 title('Pressao sanguinea');
```

Apêndice B

Código de Exportação de Variáveis

```
1
2 base = 0;
3 gain = 409,6;
4
5 % Todos os campos de amostragem de cada vetor
6 % serao divididos pelo valor do ganho
7 resp = (resp - base)./gain;
8
9 bp = (bp - base)./gain;
10
11 ecg = (ecg - base)./gain;
12
13 figure;
14 plot(resp(100000:110000));
15 title('Respiracao em escala correta');
16 figure;
17 plot(ecg(100000:110000));
18 title('ECG em escala correta');
19 figure;
20 plot(bp(100000:110000));
21 title('Pressao sanguinea em escala correta');
```

```
1 % criacao da variavel timeVec
2 timeVec = (0:length(ecg)-1)/fs;
3
4 % salvar em um arquivo para utilizacoes futuras
5 save('sub_f2_o9.mat','fs','timeVec','ecg','resp','bp');
```

Apêndice C

Tabelas com Dados Calculados

C.1 Tabelas Referentes aos Dados Calculados de Variabilidade de Frequência Cardíaca

Tabela C.1: Áreas Absolutas - VFC (ms^2)

Jovens				Idosos			
Voluntário	VLF	LF	HF	Voluntário	VLF	LF	HF
f2y01	1033.5	792.3	33.9	f2o01	817.4	1007.2	524.8
f2y02	4677.1	4277.1	1454.6	f2o02	800.2	250.3	171.0
f2y03	807.7	57.2	119.4	f2o03	408.7	580.3	199.4
f2y04	1612.2	472.3	153.7	f2o04	778.3	279.7	332.9
f2y05	760.1	453.7	164.4	f2o05			
f2y06	2904.4	1100.8	226.2	f2o06	2396.5	834.8	212.7
f2y07	2828.5	2691.7	1971.2	f2o07	1861.7	632.1	154.5
f2y08	11846.7	2360.9	2824.7	f2o08	21787.5	6881.6	7842.3
f2y09				f2o09	1280.0	417.7	39.8
f2y10	1766.5	2477.7	1008.5	f2o10	343.2	93.4	67.5

Tabela C.2: Áreas Relativas - VFC

Jovens				Idosos			
Voluntário	VLF	LF	HF	Voluntário	VLF	LF	HF
f2y01	47.8%	36.6%	15.4%	f2o01	34.7%	42.8%	22.3%
f2y02	44.9	41.0%	13.9%	f2o02	65.5%	20.4%	14.0%
f2y03	82.0%	5.8%	12.1%	f2o03	34.3%	48.8%	16.7%
f2y04	72.0%	21.1%	6.8%	f2o04	55.9%	20.1%	23.9%
f2y05	55.1%	32.9%	11.9%	f2o05			
f2y06	68.6%	26.0%	5.3%	f2o06	69.5%	24.2%	6.1%
f2y07	37.7%	35.9%	26.3%	f2o07	70.2%	23.8%	5.8%
f2y08	69.5%	13.8%	16.5%	f2o08	59.6%	18.8%	21.4%
f2y09				f2o09	73.6%	24.0%	2.2%
f2y10	33.6%	47.1%	19.2%	f2o10	68.0%	18.5%	13.4%

Tabela C.3: Áreas Normalizadas - VFC

Jovens				Idosos			
Voluntário	LF	HF	LF/HF	Voluntário	LF	HF	LF/HF
f2y01	70.3	29.6	2.3	f2o01	65.7	34.2	1.9
f2y02	74.6	25.3	2.9	f2o02	59.4	40.5	1.4
f2y03	32.3	67.6	0.4	f2o03	74.4	25.5	2.9
f2y04	75.4	24.5	3.0	f2o04	45.6	54.3	0.8
f2y05	73.3	26.6	2.7	f2o05			
f2y06	82.9	17.0	4.8	f2o06	79.6	20.3	3.9
f2y07	57.7	42.2	1.3	f2o07	80.3	19.6	4.0
f2y08	45.5	54.4	0.8	f2o08	46.7	53.2	0.8
f2y09				f2o09	91.2	8.7	10.4
f2y10	71.0	28.9	2.4	f2o10	58.0	41.9	1.3

C.2 Tabelas Referentes aos Dados Calculados da Variabilidade da Pressão Arterial

Tabela C.4: Áreas Absolutas - VPA ($mmHg^2$)

Jovens				Idosos			
Voluntário	VLF	LF	HF	Voluntário	VLF	LF	HF
f2y01	4.1e-4	5.2e-4	9.6e-5	f2o01	3.9e-4	2.1e-4	3.2e-05
f2y02	4.1e-3	4.4e-4	4.7e-5	f2o02	4.1e-3	7.0e-4	1.4e-4
f2y03	7.5e-3	1.4e-3	1.0e-4	f2o03	2.2e-3	4.1e-4	9.8e-05
f2y04	2.0e-3	6.0e-4	1.1e-4	f2o04	2.0e-3	4.7e-4	2.4e-4
f2y05	9.5e-4	4.1e-4	2.6e-4	f2o05			
f2y06	1.6e-3	1.0e-3	1.5e-4	f2o06	1.9e-3	1.1e-3	9.8e-05
f2y07	3.3e-4	4.4e-4	2.4e-4	f2o07	5.4e-3	1.2e-3	3.2e-4
f2y08	2.5e-4	2.4e-4	3.5e-5	f2o08	8.0e-3	5.2e-3	1.2e-3
f2y09				f2o09	1.0e-2	5.2e-3	8.1e-05
f2y10	5.22E-08	7.22E-09	1.62E-09	f2o10	3.6e-3	6.1e-4	4.4e-4

Tabela C.5: Áreas Relativas - VPA

Jovens				Idosos			
Voluntário	VLF	LF	HF	Voluntário	VLF	LF	HF
f2y01	39.7%	50.9%	9.2%	f2o01	61.6%	33.2%	5.0%
f2y02	89.3%	9.5%	1.0%	f2o02	83.1%	14.0%	2.8%
f2y03	82.6%	16.2%	1.1%	f2o03	81.7%	14.7%	3.5%
f2y04	74.2%	21.5%	4.1%	f2o04	73.8%	17.1%	9.0%
f2y05	58.2%	25.4%	16.2%	f2o05			
f2y06	56.6%	38.0%	5.3%	f2o06	60.9%	35.9%	3.1%
f2y07	32.6%	43.7%	23.5%	f2o07	77.4%	17.8%	4.6%
f2y08	47.3%	45.8%	6.7%	f2o08	55.3%	35.9%	8.7%
f2y09				f2o09	65.6%	33.8%	0.5%
f2y10	85.521%	11.8%	2.6%	f2o10	77.4%	13.0%	9.4%

Tabela C.6: Áreas Normalizadas - VPA

Jovens				Idosos			
Voluntário	LF	HF	LF/HF	Voluntário	LF	HF	LF/HF
f2y01	84.5	15.4	5.4	f2o01	86.8	13.1	6.69
f2y02	90.2	9.7	9.2	f2o02	83.0	16.9	4.8
f2y03	93.5	6.4	14.4	f2o03	80.7	19.2	4.2
f2y04	83.7	16.2	5.1	f2o04	65.4	34.5	1.8
f2y05	61.0	38.9	1.5	f2o05			
f2y06	87.6	12.3	7.0	f2o06	91.9	8.0	11.3
f2y07	64.9	35.0	1.8	f2o07	79.2	20.7	3.8
f2y08	87.1	12.8	6.7	f2o08	80.3	19.6	4.0
f2y09				f2o09	98.4	1.5	64.8
f2y10	81.6	18.3	4.4	f2o10	57.9	42.0	1.3

Apêndice D

Tabelas com Dados Utilizados

D.1 Tabelas Referentes aos Dados Utilizados da Variabilidade da Frequência Cardíaca

Tabela D.1: Áreas Absolutas Utilizadas - FC (ms^2)

Jovens			Idosos		
Voluntário	LF	HF	Voluntário	LF	HF
f2y01	792.3	33.9	f2o01	1007.2	524.8
f2y02	4277.1	1454.6	f2o02	250.3	171.0
f2y03	57.2	119.4	f2o03	580.3	199.4
f2y04	472.3	153.7	f2o04	279.7	332.9
f2y05	453.7	164.4	f2o06	834.8	212.7
f2y06	1100.8	226.2	f2o07	632.1	154.5
f2y07	2691.7	1971.2	f2o08	6881.6	7842.3
f2y08	2360.9	2824.7	f2o09	417.7	39.8
f2y10	2477.7	1008.5	f2o10	93.4	67.5

Tabela D.2: Áreas Relativas Utilizadas - FC

Jovens			Idosos		
Voluntário	LF	HF	Voluntário	LF	HF
f2y01	36.6%	15.463%	f2o01	42.8%	22.3%
f2y02	41.0%	13.9%	f2o02	20.4%	14.0%
f2y03	5.8%	12.1%	f2o03	48.8%	16.7%
f2y04	21.1%	6.8%	f2o04	20.1%	23.9%
f2y05	32.9%	11.9%	f2o06	24.2%	6.1%
f2y06	26.0%	5.3%	f2o07	23.8%	5.8%
f2y07	35.9%	26.3%	f2o08	18.8%	21.4%
f2y08	13.8%	16.5%	f2o09	24.0%	2.2%
f2y10	47.1%	19.2%	f2o10	18.5%	13.4%

Tabela D.3: Áreas Normalizadas Utilizadas - VFC

Jovens				Idosos			
Voluntário	LF	HF	LF/HF	Voluntário	LF	HF	LF/HF
f2y01	70.3480	29.6520	2.3725	f2o01	65.7419	34.2581	1.9190
f2y02	74.6214	25.3786	2.9403	f2o02	59.4056	40.5944	1.4634
f2y03	32.3970	67.6030	0.4792	f2o03	74.4232	25.5768	2.9098
f2y04	75.4445	24.5555	3.0724	f2o04	45.6591	54.3409	0.8408
f2y05	73.3989	26.6011	2.7592	f2o06	79.6907	20.3093	3.9238
f2y06	82.9508	17.0492	4.8654	f2o07	80.3554	19.6446	4.0905
f2y07	57.7263	42.2737	1.3655	f2o08	46.7375	53.2625	0.8775
f2y08	45.5285	54.4715	0.8358	f2o09	91.2848	8.7152	10.4743
f2y10	71.0708	28.9292	2.4567	f2o10	58.0293	41.9707	1.3826

D.2 Tabelas Referentes aos Dados Utilizados da Variabilidade da Pressão Arterial

Tabela D.4: Áreas Absolutas Utilizada - VPA ($mmHg^2$)

Jovens			
Voluntário	LF	HF	Total
f2y01	5.29E-04	9.64E-05	1.04E-03
f2y02	4.42E-04	4.75E-05	4.61E-03
f2y03	1.47E-03	1.02E-04	9.10E-03
f2y04	6.08E-04	1.18E-04	2.82E-03
f2y05	4.18E-04	2.66E-04	1.64E-03
f2y06	1.09E-03	1.54E-04	2.87E-03
f2y07	4.47E-04	2.41E-04	1.02E-03
f2y08	2.42E-04	3.56E-05	5.28E-04
f2y10	7.22E-09	1.62E-09	6.11E-08
Idosos			
Voluntário	LF	HF	Total
f2o01	2.11E-04	3.20E-05	6.35E-04
f2o02	7.07E-04	1.45E-04	5.04E-03
f2o03	4.13E-04	9.82E-05	2.80E-03
f2o04	4.73E-04	2.50E-04	2.76E-03
f2o06	1.12E-03	9.84E-05	3.12E-03
f2o07	1.25E-03	3.26E-04	6.98E-03
f2o08	5.22E-03	1.27E-03	1.45E-02
f2o09	5.27E-03	8.12E-05	1.56E-02
f2o10	6.15E-04	4.47E-04	4.70E-03

Tabela D.5: Áreas Relativas Utilizadas - VPA

Jovens			Idosos		
Voluntário	LF	HF	Voluntário	LF	HF
f2y01	50.9%	9.2%	f2o01	33.2%	5.0%
f2y02	9.5%	1.0%	f2o02	14.0%	2.8%
f2y03	16.2%	1.1%	f2o03	14.7%	3.5%
f2y04	21.5%	4.1%	f2o04	17.1%	9.0%
f2y05	25.4%	16.2%	f2o06	35.9%	3.1%
f2y06	38.0%	5.3%	f2o07	17.8%	4.6%
f2y07	43.7%	23.5%	f2o08	35.9%	8.7%
f2y08	45.8%	6.7%	f2o09	33.8%	0.5%
f2y10	11.8%	2.6%	f2o10	13.0%	9.4%

Tabela D.6: Áreas Normalizadas Utilizadas - VPA

Jovens				Idosos			
Voluntário	LF	HF	LF/HF	Voluntário	LF	HF	LF/HF
f2y01	84.5	15.4	5.4	f2o01	86.8	13.1	6.6
f2y02	90.2	9.7	9.2	f2o02	83.0	16.9	4.8
f2y03	93.5	6.4	14.4	f2o03	80.7	19.2	4.2
f2y04	83.7	16.2	5.1	f2o04	65.4	34.5	1.8
f2y05	61.0	38.9	1.5	f2o06	91.9	8.0	11.3
f2y06	87.6	12.3	7.0	f2o07	79.2	20.7	3.8
f2y07	64.9	35.0	1.8	f2o08	80.3	19.6	4.0
f2y08	87.1	12.8	6.7	f2o09	98.4	1.5	64.8
f2y10	81.6	18.3	4.4	f2o10	57.9	42.0	1.3