



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU



RODRIGO MARCOS VENÂNCIO

PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MEDIR A PRESSÃO
ARTERIAL DE ROEDORES

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2017

RODRIGO MARCOS VENÂNCIO

**PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MEDIR
A PRESSÃO ARTERIAL DE ROEDORES**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Abril/2017

V462p

Venâncio, Rodrigo Marcos.

Proposta de desenvolvimento de um sistema para medir a pressão arterial de roedores [manuscrito] / Rodrigo Marcos Venâncio. - 2017.

28f.: il.: color; grafs.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Pressão arterial. 2. Roedor como animal de laboratório. 3. Pressão arterial -- Medição. I. Reis, Agnaldo José da Rocha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

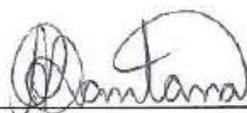
CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Monografia defendida e aprovada, em 03 de abril de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador



Profa. MSc. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada



Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo – Professor Convidado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me abençoado para que eu conseguisse chegar até aqui. Pois, por tantas vezes clamei ao meu Senhor e em todas as vezes ele me ouviu, me mostrou o melhor caminho a seguir e colocou as pessoas certas na minha vida.

Agradeço aos meus pais, Maria e José, e a minha irmã, Gisléia, por terem acreditado em meu potencial e por terem me ajudado de diversas formas para que a minha experiência universitária fosse a melhor possível. E a todos meus familiares pelos bons conselhos.

Aos meus amigos por terem me apoiado nas minhas decisões e por sempre estarem do meu lado. Especialmente, João Paulo Souza, Célia Sena, Patrícia Meireles, Rárisson Hilário e Itamar Oliveira, pelos vários dias que passamos resolvendo exercícios e trabalhos e pelos momentos de descontração. E a todos os colegas da Automação 11.2 pelos diversos bons momentos compartilhados.

À todos os professores por terem contribuído para o meu desenvolvimento profissional. Em especial os professores: Dr. Agnaldo José da Rocha Reis e Dr. Sangram Redkar que além de lecionarem com maestria duas matérias importantes para minha formação, sempre me deram conselhos para a vida profissional e acreditaram no meu potencial. Aos Professores Dr. Rômulo Leite e Dra. Lenice Becker por estarem sempre dispostos a me ajudar durante a minha monografia. Ao Prof. Dr. Paulo Monteiro por ter me apoiado em vários momentos da minha graduação, principalmente durante a preparação para o meu intercâmbio. E a todos os professores da Universidade Federal de Ouro Preto e da Arizona State University que compartilharam um pouco do seu conhecimento comigo, fazendo com que eu me tornasse um profissional qualificado.

À UFOP por me proporcionar um ensino de qualidade e laboratórios nos quais eu pudesse desenvolver vários projetos.

À todos que me ajudaram diretamente ou indiretamente nessa conquista.

RESUMO

A medição da pressão arterial de roedores é um procedimento realizado diariamente em vários laboratórios de Farmácia, Educação Física, entre outros. Apesar do sistema utilizado para esse tipo de medição ser bem difundido no mercado, ele ainda possui um alto valor comercial, o que inviabiliza a compra de vários sistemas como esse em instituições com pequenos orçamentos. Desenvolver um sistema de medição de baixo custo seria uma boa opção para resolver esse problema, possibilitando que os laboratórios possuíssem vários instrumentos como esse. A primeira parte deste trabalho faz um resumo da teoria sobre a medição da pressão arterial de roedores, explica o procedimento de medição e os parâmetros que devem ser observados para evitar erros no experimento. A segunda parte do trabalho explica algumas informações básicas de como deve ser feito o *software* de aquisição de dados, o *software* de análise de dados e o *hardware* desse sistema. Sendo assim, ao final da leitura deste trabalho, o leitor terá um embasamento teórico básico para começar a desenvolver o próprio sistema de medição da pressão arterial.

ABSTRACT

The measurement of arterial pressure is a daily procedure in various laboratories of Pharmacy, Physical Education, etc. Although the measurement system for this type of application is well-known on the market, this system is still expensive. For that reason, the purchase of several equipment can be a problem to institutions that have a small budget. The development of a low-cost measurement system would be a good option to solve this problem. Thus, the laboratories could be equipped with several measurement systems. The first part of this paper: makes a summary of the theory about the measurement of arterial pressure in rodents, explains the procedure to make the measurement, and explain the parameters that should be observed to avoid errors in the procedure. The second part of this paper gives some basic information about the development of a data acquisition software, the development of a data analysis software, and the development of a *hardware* for this system. Therefore, upon completion of this paper, the reader going to have the basic theoretical background to start to develop his own arterial pressure measurement system.

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

3D – Tres Dimensoes

A/D – Analgico/Digital

AmpOp – Amplificador Operacional

CAD – *Computer-Aided Design* – Desenho Assistido por Computador

CEDUFOP – Centro Desportivo da UFOP

DAQ – *Data Acquisition* – Aquisio de Dados

DC – *Direct Current* – Corrente Contnua

DECAT – Departamento de Engenharia de Controle e Automao e Técnicas Fundamentais

DEFAR – Departamento de Farmácia

FC – Frequência Cardíaca

PA – Pressão Arterial Pulsátil

PCB – *Printed Circuit Board* – Placa de Circuito Impresso

PD – Pressão Arterial Diastólica

PM – Pressão Arterial Média

PP – Pressão de Pulso

PS – Pressão Arterial Sistólica

USB – *Universal Serial Bus* – Barramento Serial Universal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do método da canulação	15
Figura 2 – Cateter lavado corretamente x cateter lavado com pouca salina.....	15
Figura 3 – Exemplo de tela de aquisição de dados.....	21
Figura 4 – Foto do Transdutor MLT1199	24
Figura 5 – Especificações do Transdutor MLT1199	24
Figura 6 – Diagrama do circuito.....	26
Figura 7 – Caixa para circuitos eletrônicos	27
Figura 8 – Coluna de mercúrio que pode ser utilizada como padrão de medição	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo geral.....	12
1.2	Objetivos específicos	12
1.3	Justificativa do trabalho	12
1.4	Metodologia proposta	13
1.5	Estrutura do trabalho.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3	PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO INVASIVO PARA A MEDIÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL DE ROEDORES	18
3.1	<i>Softwares</i>	18
3.1.1	<i>Software</i> para aquisição de dados.....	18
3.1.2	<i>Software</i> para análise de dados.....	21
3.1.3	Procedimentos padrões ao criar um programa	22
3.2	<i>Hardware</i>	24
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O método da canulação é utilizado diariamente para o monitoramento da pressão arterial de roedores (KREGGE et al., 1995). Esse método utiliza um transdutor de pressão para medir o fluxo sanguíneo da artéria femoral do rato. Segundo Kurtz et al. (2005) esse tipo de método é recomendado para: quantificar a magnitude da hipertensão ou das mudanças na pressão sanguínea, quantificar a relação entre a pressão arterial e outras variáveis, estudar os efeitos dependentes e independentes da pressão arterial em diferentes variáveis, identificar formas sutis de hipertensão ou alteração na pressão sanguínea e medir a pressão arterial de forma contínua ao longo do tempo. Todavia, ele não é recomendado para o rastreamento da hipertensão franca ou dos efeitos da pressão arterial em um grande número de animais, porque esses experimentos exigem medições nos roedores durante meses. Como o método da canulação não possibilita medições no roedor por mais de um mês, os métodos não invasivos são os indicados para os procedimentos em questão. Os métodos não invasivos não são indicados para outros experimentos porque eles são menos exatos que os métodos invasivos e necessitam de um controle rigoroso do ambiente onde será feita a medição.

A pressão sanguínea é dada por meio de dois números, escritos em forma de uma fração. O numerador é a pressão sistólica, ou seja, é a pressão de contração do coração. O denominador é a pressão diastólica, em outras palavras é a pressão presente no coração quando o mesmo está descansando entre as batidas. (KENNEL, GORDON e SCHWARTZ, 1971)

Para estudar os efeitos dos fármacos, treinamentos físicos ou suplementos é necessário analisar a pressão arterial de vários ratos diversas vezes durante a semana. Buñag e Butterfield (1982) alertam que os medidores de pressão que utilizam o cateter arterial são sem dúvida os sistemas que apresentam a maior exatidão. As únicas desvantagens são os procedimentos cirúrgicos para a implantação do cateter arterial e as dificuldades de se manter esse tipo de medição por um longo prazo. Além disso, a canulação de um rato requer habilidades técnicas avançadas.

Uma parte importante para o desenvolvimento do sistema supracitado é a aquisição de dados (DAQ). O DAQ é o processo de medir um fenômeno elétrico ou físico, tais como: tensão, corrente, temperatura, pressão, entre outros (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017). Um sistema DAQ consiste em um sensor, um instrumento de medição e condicionamento de dados e um *software* no

qual o usuário será capaz de visualizar e manipular os dados obtidos. O grande benefício de se desenvolver um sistema DAQ é a possibilidade de personalizar o sistema de acordo com as necessidades do usuário, diferentemente de um sistema DAQ comercial que possui funções padrões. Outro fator que merece destaque é a enorme diferença econômica entre um sistema DAQ comercial e um sistema DAQ desenvolvido pelos próprios pesquisadores.

1.1 Objetivo geral

Apresentar uma proposta de desenvolvimento de um sistema invasivo para aferição da pressão arterial de roedores.

1.2 Objetivos específicos

Analisar artigos sobre aferição da pressão arterial de roedores e apresentar de forma resumida todos os cuidados que devem ser tomados ao se desenvolver um sistema como esse.

Descrever as etapas de desenvolvimento de um sistema invasivo de aferição da pressão arterial de roedores.

1.3 Justificativa do trabalho

O laboratório de pesquisa do curso de Ciências Biológicas da UFOP, relatou ao Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais (DECAT) o problema que vem enfrentando quanto a falta de sistemas de medição de pressão arterial para avançar as pesquisas. Apesar desse aparelho ser bem difundido no mercado, ele ainda possui um elevado valor comercial. Dessa maneira, torna-se inviável a compra de vários equipamentos desse tipo para atender a demanda da UFOP.

O desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados é uma parte importante do curso de Engenharia de Controle e Automação e essa parceria beneficiará os dois departamentos. O DECAT será beneficiado por poder auxiliar seus alunos em uma montagem prática de um sistema DAQ e o curso de Ciências Biológicas e Educação Física serão beneficiados por poderem ter vários equipamentos para o curso, pois ao terminar o desenvolvimento do primeiro sistema, ele poderá ser facilmente replicado.

Finalmente, pode-se salientar o desenvolvimento de um projeto interdisciplinar, que é um dos maiores objetivos de uma universidade. Haja vista que uma universidade que consegue atender as próprias demandas com projetos internos, beneficia a todos os envolvidos e influencia o aparecimento de novas soluções internas, alavancando o conhecimento científico e tecnológico.

1.4 Metodologia proposta

Na primeira parte do projeto será feita uma extensa revisão da literatura para que as informações mais relevantes possam ser selecionadas. Na segunda etapa será feita várias reuniões com profissionais que trabalham com a medição da pressão arterial na UFOP, para que eles relatem: as principais características dos sistemas de medição, as principais funções dos sistemas de medição, quais funções eles gostariam de adicionar aos sistemas de medição que eles utilizam e como eles gostariam que o *software* fosse organizado. Ainda nessa etapa será feita reuniões com os especialistas da UFOP em sistemas de aquisição de dados, para recolher informações técnicas sobre esse tipo de sistema. Na última etapa do trabalho será feito um resumo com todas essas informações.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta um contexto introdutório sobre o trabalho. O segundo capítulo mostra informações obtidas na revisão da literatura. O terceiro capítulo propõe o desenvolvimento de um sistema invasivo para aferição da pressão arterial de roedores, alertando sobre os cuidados que devem ser tomados no desenvolvimento do sistema. No quarto capítulo é apresentado alguns resultados obtidos a partir da metodologia descrita no capítulo três. O quinto capítulo disserta sobre as considerações finais. Finalmente, nas referências, apresenta-se, em ordem alfabética, todo o material consultado e citado ao longo do texto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Van Vliet et al. (2000) afirmam que a pressão arterial é frequentemente medida para observar a reação do sistema cardiovascular a um tratamento ou para realizar estudos relacionados a hipertensão. Os autores também comentam que a maneira que a pressão sanguínea é medida varia de laboratório para laboratório. Sendo assim, os valores obtidos, a confiabilidade das medidas e a interpretação do experimento são fortemente influenciadas pelo método selecionado. Uma das categorias dos métodos é denominada métodos diretos ou invasivos. Os pesquisadores em questão definem essa categoria como técnicas pelas quais seja preciso implantar um instrumento dentro do sistema arterial para realizar as medições.

O sensor mais utilizado para estudo com animais é o cateter cheio de fluido. A extremidade desse sensor é conectada a um transdutor de pressão onde o fluido entra em contato com o elemento de transdução. Sendo assim, a resistência do elemento muda de forma proporcional a pressão aplicada ao mesmo. A mudança na resistência é convertida para um sinal elétrico. Portanto, para uma ponte contendo quatro elementos ativos, a tensão de saída (e_0) dependerá da tensão de excitação (E), da variação da resistência no elemento (ΔR) e da resistência do elemento quando não há pressão sobre ele (CHANDRAN; RITTGERS; YOGANATHAN, 2006), a relação entre esses parâmetros pode ser vista na equação 1.

$$e_0 = E \frac{\Delta R}{R} \quad (1)$$

Fonte: CHANDRAN; RITTGERS; YOGANATHAN, 2006

Após a explicação do princípio de funcionamento do transdutor, pode-se concluir que a exatidão da medição depende da exatidão da tensão de excitação e da exatidão do instrumento que medirá a saída do sensor. Mais informações sobre esse transdutor pode ser encontrada na Figura 4 da página 21 e na página 22.

Para permitir que o animal fique livre para se movimentar, a parte externa do cateter pode ser alocada dentro de uma proteção e conectada a um suporte giratório. As vantagens de se utilizar esse sensor são: o sensor é de baixo custo, tem alta precisão e exatidão, e no caso de se utilizar um suporte giratório e a proteção proposta, é possível obter medições contínuas sobre condições de estresse relativamente baixas (VAN VLIET et al., 2000). A Figura 1 mostra como deve ser montado o experimento.

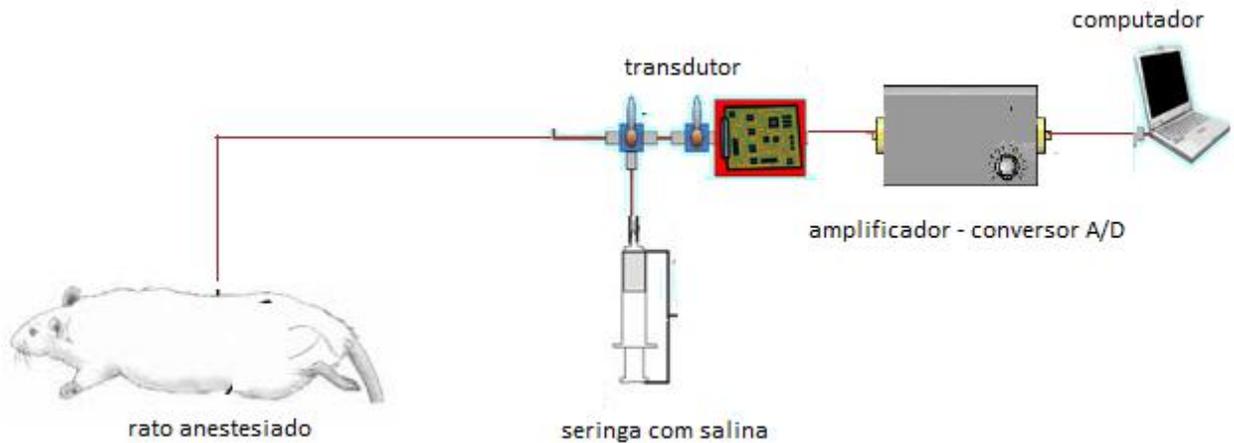


Figura 1 – Esquema do método da canulação

Fonte: Figura adaptada de CHOWDHURY; HOLMAN; FAUTSCH, 2013

Falsetti et al. (1974) argumentam que os parâmetros mais importantes para maximizar a confiabilidade do sistema são: eliminar as pequenas bolhas de ar dentro do cateter e minimizar o comprimento das conexões entre o cateter e o transdutor. A Figura 1 mostra a distorção excessiva nas medições do cateter quando pequenas bolhas de ar aparecem dentro do mesmo. Para evitar que as bolhas de ar apareçam no cateter é necessário lavá-lo com salina periodicamente e utilizar cateteres feitos com tubos rígidos, por exemplo: polietileno ou Teflon. (FALSETTI et al., 1974; BUÑAG, 1983)

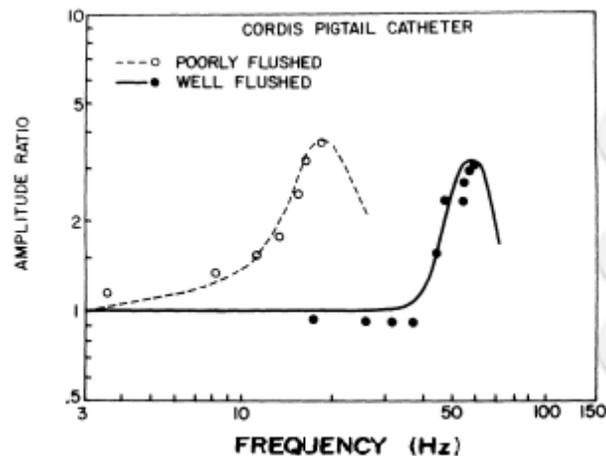


Figura 2 – Cateter lavado corretamente x cateter lavado com pouca salina

Fonte: FALSETTI, 1974

As artérias mais utilizadas para a canulação são: aorta, carótida, ilíaca, femoral ou caudal. No entanto, a canulação da artéria carótida pode provocar infarto e da ilíaca ou femoral pode resultar na paralisia da perna traseira do animal. As medições da pressão arterial variam de uma artéria para outra, tais variações podem chegar até a 30 mmHg. Mas, independente do ponto utilizado a estagnação do fluxo sanguíneo resultante da canulação arterial pode gerar a formação de coágulos sanguíneos e sobrecrescimentos fibrosos que podem entupir o cateter. Para reduzir esse problema é necessário utilizar uma solução de heparina com concentração 200 U/ml para encher os cateteres (BUÑAG, 1983). Considerando que 1 ml é equivalente a 5000 U, uma concentração de 200 U/ml significa 0,04 ml de heparina para cada ml de salina. Os cateteres e os instrumentos usados para cirurgia devem ser mergulhados no cloreto de benzalcônio por 30 minutos para reduzir o risco de infecção (BUÑAG, MCCUBBIN, 1971).

A grande vantagem de utilizar o método da canulação é que ele é o único método no qual a calibração pode ser feita a qualquer momento. Isso previne eventuais deslocamentos da linha de base e mudanças na sensibilidade do sistema. Além disso, esse é o método economicamente mais viável para a aferição da pressão arterial. Os itens de maior valor econômico para fabricar esse tipo de sistema são: um amplificador e um sistema DAQ de alta qualidade, juntamente com um conversor analógico/digital e um computador. Apesar dos benefícios, algumas características desse método podem inviabilizar o uso do mesmo para alguns experimentos. Pode ocorrer o enfraquecimento ou até a perda do sinal, caso aconteça um coágulo sanguíneo ou o crescimento de tecidos fibrosos na ponta do cateter. Se o tamanho do cateter for muito pequeno, pode ocorrer uma resposta dinâmica limitada, fazendo com que o sistema perca a exatidão. Caso contrário, o sub-amortecimento resultante da frequência de ressonância pode distorcer os pulsos da pressão arterial. Portanto, é extremamente importante analisar a resposta em frequência e a taxa de amortecimento do sistema antes de aplicá-lo. Apesar de todos os empecilhos, a maioria das desvantagens do método da canulação podem ser superadas por meio de procedimentos apropriados (KURTZ et al., 2005).

Vários fatores podem alterar a pressão arterial independente do método de medição utilizado. Entre esses fatores, pode-se destacar: a temperatura da sala, a variação da luminosidade, ruídos, tempo de contato com humanos, número de roedores por cela, proximidade de outros animais no processo de medição da pressão arterial, o tamanho da cela e como ela é organizada. A cela deve conter

acesso a brinquedos, esteiras e lugares onde o animal possa se esconder. Temperaturas locais abaixo de 29°C podem aumentar o consumo de comida, a taxa metabólica e a pressão arterial. (KURTZ et al., 2005)

Após terminar a discussão sobre a variável medida, a próxima discussão será sobre o sistema de aquisição de dados. Quando o sinal de saída entra no microcontrolador, a primeira operação feita pelo mesmo é a conversão analógica/digital. Para fazer essa conversão o ciclo de operação do microcontrolador inicializa a variável de dados e o canal onde será feita a conversão. Para fazer isso, o microcontrolador habilita os registros PORT (registro para entrada/saída de dados), a interrupção e o registro *SLEEP* (responsável por habilitar ou desabilitar o microcontrolador). Após essa etapa, o microcontrolador seleciona o canal no qual o sensor está conectado e começa a conversão. A velocidade de conversão de cada dado depende do clock interno do microcontrolador. Quando a conversão termina, é gerada uma interrupção chamada EOC (fim da conversão). Depois que a EOC é ativada o microcontrolador guarda o dado convertido em sua memória. Considerando um microcontrolador padrão que possui um conversor de 8 bits e trabalha em uma escala de 0V a 5V, a resolução da conversão seria de 20mV (ZHU et al., 1991). Essa resolução é suficiente para muitas variáveis que precisam ser medidas, inclusive a pressão arterial.

3 PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO INVASIVO PARA A MEDIÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL DE ROEDORES

Após a análise de vários instrumentos para a aferição da pressão arterial de roedores desenvolvidos ao longo dos anos, foi possível entender os detalhes de desenvolvimento dos instrumentos, as melhorias que podem ser feitas e os principais recursos que o mesmo deve ter para atender a demanda de vários profissionais da área.

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema que consiste em duas etapas: *software* e *hardware*. O *software* seria desenvolvido em parceria com profissionais do Departamento de Farmácia (DEFAR) e do Centro Desportivo da UFOP (CEDUFOP) da Universidade Federal de Ouro Preto. Além disso, seria necessário o desenvolvimento de dois *softwares*, um para aquisição de dados e outro para análise de dados. Já o desenvolvimento do *hardware* pode ser feito em parceria com os professores especialistas em aquisição de dados do DECAT. Também seria interessante considerar a experiência dos pesquisadores que publicaram artigos nessa área. O *hardware* seria desenvolvido de maneira que o circuito ficasse simples e, ainda sim, pudesse ter excelentes resultados. No geral, o sistema seria desenvolvido de forma enxuta, trazendo vários benefícios, como: baixo custo de produção quando comparado a outros sistemas, facilidade de manutenção, confiabilidade e facilidade de manuseio.

3.1 Softwares

3.1.1 *Software* para aquisição de dados

Seria interessante que o *software* tivesse uma interface gráfica amigável e tivesse apenas as funções necessárias, facilitando o uso do mesmo. Isso porque, a proposta é desenvolver um sistema de baixo custo que atenda as necessidades dos pesquisadores da UFOP. A proposta não é competir com os sistemas já presentes no mercado. De acordo com os professores do DEFAR e do CEDUFOP, o *software* precisa ser capaz de mostrar instantaneamente e gravar os seguintes parâmetros do experimento: Pressão Arterial Pulsátil (PA), Pressão Arterial Sistólica (PS), Pressão Arterial Diastólica (PD), Pressão Arterial Média (PM), Pressão de Pulso (PP) e Frequência Cardíaca (FC). Desses parâmetros, o único que precisa ser medido é a PA, pois os outros parâmetros podem ser calculados a partir da PA em um intervalo de aproximadamente 1 segundo.

A PS será o maior valor da PA no intervalo programado. A PD será o menor valor da PA. A PM poderá ser calculada a partir da equação 2:

$$PM = PD + \left(\frac{1}{3} \times PP \right) \quad (2)$$

Fonte: Mean (2011)

O cálculo da PP obedece a equação 3:

$$PP = PS - PD \quad (3)$$

Fonte: Mean (2011)

O último parâmetro, a frequência cardíaca, pode ser medida contando quantas vezes a PA oscilou do ponto máximo ao ponto mínimo em um intervalo de um minuto.

O *software* desenvolvido deverá ser capaz de trabalhar com diferentes taxas de amostragem. Isso é importante porque em diferentes setores de estudo é necessário medir a pressão arterial dos roedores com taxas de amostragem variadas. Essas taxas podem variar de 60 Hz a 200 Hz para atender todas as áreas. No entanto, para atender a demanda da UFOP variações na taxa de amostragem entre 60 Hz a 100 Hz seriam suficientes.

Para que a comparação entre os parâmetros possa ser feita, seria interessante que o programa desse a opção para o usuário adicionar pelos menos 3 gráficos na tela simultaneamente. Isso daria autonomia para o pesquisador identificar possíveis falhas no experimento e corrigi-las instantaneamente.

Uma função para pausar o gráfico deve ser uma opção presente no *software*. Muitas vezes o animal acorda durante o experimento ou outras situações impossibilitam que o experimento continue. Uma função para pausar o gráfico garantiria que o pesquisador pudesse consertar o erro e depois continuar o experimento normalmente. Outra situação em que essa função pode ser utilizada é quando o pesquisador tem que preparar o medicamento para aplicar no rato.

Outra demanda dos profissionais da área é a possibilidade de identificar em qual ponto do experimento o medicamento foi aplicado. Desta forma, haverá a possibilidade de analisar posteriormente quanto tempo o medicamento demorou para fazer efeito. No entanto, é normal que apenas um profissional esteja trabalhando no procedimento. O problema é que esse profissional

teria dificuldades para aplicar o medicamento e apertar um botão no *software* para inserir a marca simultaneamente. Para eliminar esse problema, um contador decrescente poderia ser inserido no *software* de forma que o indivíduo pudesse programar um atraso para que o comando de marcar o experimento surtisse efeito. Ou seja, se o atraso programado fosse de 10 segundos, o pesquisador teria 9 segundos para preparar o medicamento e somente aplicaria o medicamento quando o cronômetro zerasse.

Dependendo do experimento realizado o pesquisador precisa que os dados sejam exibidos na tela de forma mais rápida ou de forma mais lenta. Portanto, o programa deve dar opção para que o responsável pelo experimento possa mudar a velocidade de exibição dos dados na tela. Isso acontece porque algumas vezes é necessário observar a reação momentânea do animal a um estímulo, outras vezes o pesquisador quer observar a reação do animal em um período maior.

Outro problema de um programa que trabalha com taxas de amostragem acima de 60 Hz é identificar os valores que estão sendo exibidos na tela. No caso da PA esse problema é intensificado devido a sua característica pulsátil. Por esse motivo, a grande variação dos dados dificultam a leitura dos mesmos. Para superar esse problema será preciso criar uma forma criativa de visualizar os dados, garantindo que a pessoa que esteja conduzindo o experimento tenha facilidade de interpretar os valores que estão sendo exibidos.

A forma com que os dados são salvos também é algo muito importante. Vários experimentos com roedores são realizados todos os dias nos laboratórios. Para que cada experimento seja facilmente identificado, os dados gravados devem conter pelo menos o nome do pesquisador e o nome do experimento realizado. Isso facilitará que todos os experimentos sejam encontrados de forma rápida e prática.

De acordo com os profissionais da UFOP, a variação máxima da PA é em torno de 40mmHg. Conseqüentemente, a representação desses dados em um gráfico que varia de 0mmHg a 300mmHg, pode fazer com que esses dados sejam exibidos em uma escala reduzida na tela. Uma função que aplicasse um *zoom* na tela resolveria esse problema. Pois, dessa forma, o usuário poderia escolher a escala em que os dados serão exibidos na tela.

A Figura 2 mostra um exemplo da tela de aquisição de dados que pode ser criada com a linguagem Java. Nessa tela seria possível exibir a forma de onda da PA e mostrar o valor da PS no manômetro

analógico simulado na tela ou exibir a forma da onda e mostrar o valor de qualquer outro parâmetro fornecido pelo programa.

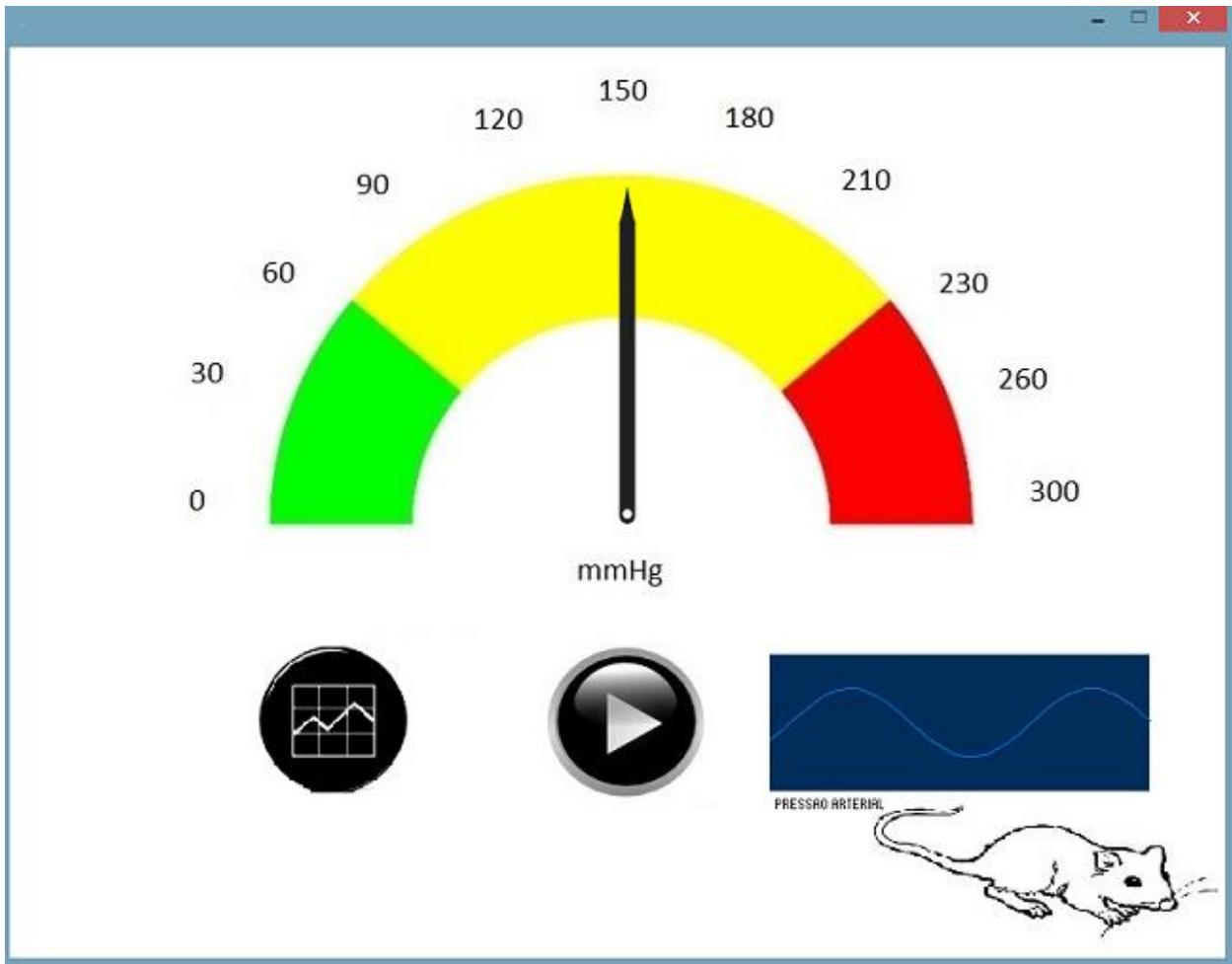


Figura 3 – Exemplo de tela de aquisição de dados
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 *Software* para análise de dados

A primeira parte da análise de dados é carregar o experimento que o usuário quer analisar. Nesse caso, é importante que o programa apenas mostre para o usuário os arquivos que contenham as extensões aceitas pelo programa. Isso facilitará a busca do usuário pelo experimento desejado e evitará eventuais erros no programa. Assim como no *software* de aquisição de dados, o *software* de análise de dados também deverá exibir na tela pelo menos três gráficos simultaneamente. Também é necessário inserir funções no programa para que o usuário possa achar qualquer ponto do experimento de forma rápida e eficiente. Considerando que o programa de aquisição de dados

pudesse gerar marcações no experimento, seria interessante que o usuário pudesse visualizar o ponto no experimento onde a marcação foi inserida.

Como já foi citado anteriormente, a quantidade de dados exibidos na tela é uma informação muito importante. Profissionais da UFOP indicaram que em alguns momentos é necessário analisar apenas 10 segundos de dados por tela, todavia em outros momentos é necessário analisar até 2 horas de experimento na mesma tela. Por esse motivo, o programa deve ser versátil quanto a quantidade de dados exibidos na tela.

Outra função que deve ser importada do programa de aquisição de dados é a função *zoom*. No entanto, como o processamento do computador não está sendo altamente utilizado, seria possível expandir essa função sem que houvessem riscos do computador ficar mais lento por isso. A ideia é que o *software* pudesse dar oportunidade para o usuário expandir a tela uniformemente ou expandir separadamente a escala de cada um dos gráficos que está sendo exibido. Isso fará com que o pesquisador possa analisar cada gráfico na escala que ele achar conveniente.

Como em qualquer análise de dados uma função para análise estatística seria muito importante para esse programa. Muitas vezes o pesquisador quer saber qual foi a maior ou a menor medição e em qual ponto elas ocorreram. Ou ainda seria importante saber o desvio padrão, variância e a média dos dados analisados.

Uma análise que não pode ser feita em vários *softwares* de aquisição de dados da categoria e que é muito utilizada pelos pesquisadores é o cálculo da área sob a curva do gráfico. Os pesquisadores da UFOP relataram que calcular a área sob a curva é fundamental para analisar e comparar o efeito que um medicamento ou procedimento tem em um animal. Em outras palavras com a área sob a curva é possível descobrir o tempo e a intensidade que o estímulo dá ao roedor.

3.1.3 Procedimentos padrões ao criar um programa

Em qualquer programa que exista entrada de dados do usuário é necessário garantir que o usuário somente entre com dados que possam ser interpretados pelo programa. Esse problema se intensifica quando a entrada de dados é feita através da digitação. Desse modo, para evitar que o programa pare de funcionar, é necessário criar filtros que verifiquem se a entrada de dado faz sentido para o programa e que avisem o usuário caso a entrada de dados tenha sido feita de forma equivocada. Logicamente, esses filtros devem ser personalizados para cada função. Juntamente com o filtro,

ainda é preciso definir que o programa reaja de forma estável em todos os momentos. Uma boa forma de se fazer isso é testar diferentes sequências de comandos no programa para verificar se uma função não inviabiliza o uso da outra função ou faz com que a outra função tenha um comportamento fora do programado. Caso uma função afete a outra e isso não possa ser resolvido, o melhor a se fazer é desabilitar a função afetada e habilitá-la somente quando a outra função terminar a sua rotina.

Não é recomendado que o programa seja feito sem a opinião de outras pessoas relacionadas a área de aplicação do programa. Como por exemplo, no caso do programa pra medir a PA é muito interessante que o programador converse com os profissionais que já tenham experiência nesse tipo de medição e, além disso, converse com outros programadores. Isso certamente fará com que a organização e a utilização do programa se transforme em algo mais intuitivo. O principal benefício de se conversar com pessoas envolvidas com a medição de PA de roedores é observar o padrão de programas que eles estão acostumados a utilizar para essa aplicação. Nesse caso, o programador pode seguir esse padrão, facilitando a adaptação dos pesquisadores ao novo programa.

A validação do *software* nunca poderá ser negligenciada, pois essa é uma das etapas mais importantes do mesmo. Portanto, após o programador eliminar todos os erros encontrados é necessário que o *software* seja utilizado durante alguns meses pelos usuários para que eles possam relatar eventuais erros que possam aparecer. Além disso, os usuários também podem relatar algumas melhorias que poderiam ser feitas para melhorar o programa.

Ao desenvolver o programa outro critério que deve ser avaliado é a linguagem de programação utilizada e o programa que será utilizado para desenvolver essa aplicação. Sabe-se que o sistema aqui discutido deve ter uma interface gráfica amigável e intuitiva. Posto isso, duas linguagens de programação indicadas seriam Java e C#. Essas linguagens são indicadas porque elas possibilitam o desenvolvimento de qualquer tipo de interface gráfica. Além disso, essas duas linguagens possuem fóruns ativos na Internet, os quais devem ser utilizados para consultar eventuais dúvidas que possam surgir.

3.2 Hardware

O primeiro passo para criar o *hardware* do sistema é saber a faixa de saída do sensor ou transdutor utilizado. Existem diversos tipos de sensores no mercado para medir a PA. No entanto, uma escolha interessante seria utilizar sensores que já são utilizados na UFOP. Entre eles uma ótima escolha seria o transdutor MLT1199 BP fabricado pela ADINSTRUMENTS, Austrália. A Figura 3 mostra uma foto do transdutor e a Figura 4 mostra as suas especificações.



Figura 4 – Foto do Transdutor MLT1199
Fonte: ADINSTRUMENTS, 2008

Especificações

Faixa de operação:	-50 a +300 mmHg
Tensão de Entrada:	2 a 10 V DC
Sensibilidade:	5 μ V/V/mmHg
Limite máximo de pressão:	-400 a +4000 mmHg
Não-linearidade e histerese:	+/- 2 % da leitura ou +/- 1 mmHg (o que for maior)
Temperatura de operação:	+15°C a 40°C
Vida útil:	>500 horas

Figura 5 – Especificações do Transdutor MLT1199
Fonte: ADINSTRUMENTS, 2008

A vantagem do transdutor supracitado é que ele foi desenvolvido para medições da PA de roedores e, por esse motivo, suas especificações atendem perfeitamente ao objetivo da medição. Para o desenvolvimento do *hardware* a especificação mais importante é a sensibilidade do sensor. Observando a Figura 3, pode-se calcular a faixa de saída do transdutor. Caso o transdutor seja alimentado com 10V ele terá uma sensibilidade de $50\mu\text{V}/\text{mmHg}$. Como o experimento ocorre na faixa de 0mmHg a 300mmHg, a faixa de saída desse transdutor será de 0mV a 15mV quando a sua alimentação for de 10V. A partir desse ponto, o próximo passo deverá ser amplificar esse sinal para que o mesmo possa ser utilizado por um microcontrolador. Como a maioria dos microcontroladores trabalham em uma faixa de 0 a 5V, esse sinal teria que ser amplificado por uma razão de $5\text{V}/15\text{mV}$, o que daria um fator de 333. Posto isso, é preciso identificar amplificadores no mercado que consigam amplificar o sinal em um fator de pelo menos 333. O grande problema desse tipo de situação é que os ruídos gerados por esses amplificadores podem fazer com que o sinal do sensor seja distorcido. Então, ao escolher o AmpOp (amplificador operacional) a ser utilizado é extremamente importante observar a não-linearidade e os ruídos desse AmpOp. De toda forma, independentemente do AmpOp que será utilizado será necessário filtrar o sinal que sai do AmpOp para diminuir os ruídos gerados por esse dispositivo. O filtro a ser aplicado, depende do AmpOp que será escolhido. Atualmente existe muito material sobre filtros de sinal, como exemplo pode-se citar: (GEIGER;SANCHEZ-SINENCIO, 1985; RAO;SRINIVASAN, 1973). Esse assunto deverá ser bem estudado antes de escolher qual o melhor filtro para essa situação.

Após o sinal ser filtrado, ele precisará passar por um conversor A/D (Analogico/Digital) para que esse sinal possa ser interpretado por um computador. Atualmente existem vários microcontroladores economicamente viáveis no mercado que possuem essa função. Outro parâmetro que deve ser observado ao escolher o microcontrolador é quantos bits ele utiliza para realizar a conversão A/D. Quanto mais bits o microcontrolador utilizar, mais fidedigna será a conversão realizada. Por outro lado, se o conversor A/D tiver mais que 8 bits, o protocolo de comunicação entre o microcontrolador e o computador deverá ser revisado. A maioria dos microcontroladores utilizam o protocolo serial UART para fazer essa comunicação. No entanto esse protocolo só consegue enviar sequências de 8 bits. Se o conversor A/D possuir mais de 8 bits, é necessário escolher entre duas alternativas. A primeira alternativa seria converter o valor lido pelo conversor para um valor de 8 bits e só depois enviar esse valor para o computador. A segunda opção seria dividir o resultado da conversão em duas sequências de 8 bits e enviá-las

separadamente. Nesse caso, ainda seria necessário que o *software* interpretasse essas duas sequências como sendo apenas um valor. Todo esse procedimento irá diminuir a taxa de amostragem do sistema, contudo se ao usar esse procedimento o sistema ainda conseguir uma taxa de amostragem de 100 amostras/segundo, isso não afetará o experimento.

Muitos microcontroladores não possuem um módulo USB (Barramento Serial Universal) interno. Nesse caso, ele não conseguirá comunicar diretamente com o computador. Para realizar a comunicação será necessário utilizar um adaptador USB x RS232. A Figura 5 mostra o diagrama do circuito que deve ser montado para esse sistema de aquisição de dados.

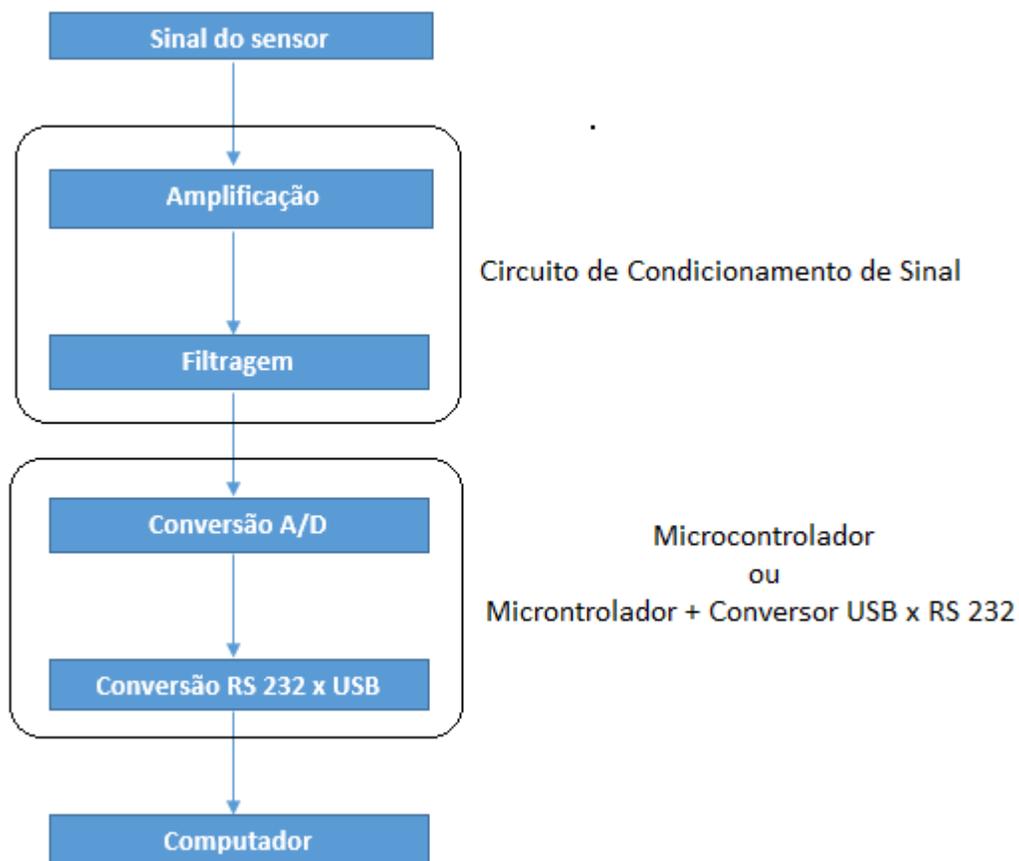


Figura 6 – Diagrama do circuito
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 5 a amplificação e a filtragem do sinal é denominada circuito de condicionamento de sinal. Esse circuito é geralmente composto por AmpOps, capacitores e resistores. Ainda na Figura

4, verifica-se que a conversão A/D e a conversão RS 232 x USB podem ser feitas pelo microcontrolador.

Após criar a Placa de Circuito Impresso (PCB) é necessário envolvê-la em uma caixa para protegê-la de fatores externos que podem danificar o circuito. Esse cuidado deve ser intensificado no sistema proposto porque os laboratórios que fazem a aferição da PA trabalham com vários produtos líquidos. Existem duas opções para criar o invólucro do sistema, a primeira opção seria fazer o *designer* do invólucro em um programa de Desenho Assistido por Computador (CAD) e imprimir esse *design* em uma impressora 3D. Essa opção é interessante porque você pode criar um invólucro diferenciado, fazendo com que o seu sistema seja mais valorizado. A segunda opção é comprar uma caixa para circuitos eletrônicos. Nesse caso, será necessário fazer alguns cortes na caixa para a entrada e a saída de sinal do circuito. A Figura 6 mostra uma caixa para circuitos eletrônicos que pode ser encontrada facilmente no mercado.



Figura 7 – Caixa para circuitos eletrônicos
Fonte: Catálogo de produtos Patola (2014)

Independente da solução escolhida, os furos para entrada e saída de sinal devem ser dimensionados do tamanho exato necessário. Desse modo, a PCB ainda estará protegida, mesmo com os furos na caixa.

A próxima fase para construção do *hardware* é a calibração do sistema. Para realizar a calibração desse sistema o instrumento mais adequado é a coluna de mercúrio. Esse instrumento é indicado porque a sua medição apresenta uma boa exatidão. Após a calibração do sistema será possível saber o erro máximo de medição e também será possível criar uma curva de erros de medição. Esses dados são muito úteis porque é uma garantia para o pesquisador que o sistema de medição não afetará a sua pesquisa. Um exemplo desse instrumento está ilustrado na Figura 7.



Figura 8 – Coluna de mercúrio que pode ser utilizada como padrão de medição
Fonte: Catálogo de produtos Jaeger (2015)

A última etapa é a validação do sistema. Essa etapa deve durar aproximadamente seis meses. É nessa etapa que o sistema desenvolvido será utilizado frequentemente pelos pesquisadores. Sendo assim, se não ocorrer erro durante 6 meses de utilização do sistema, é possível afirmar que esse instrumento está apto para ser utilizado. Caso contrário, os erros deverão ser corrigidos e uma nova etapa de validação do sistema deve ser iniciada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a leitura desse trabalho, é possível obter as informações básicas para iniciar o desenvolvimento de um sistema para medir a PA de roedores. Como trabalhos futuros, seria interessante desenvolver o sistema proposto para liquidar a demanda da UFOP. É possível que aparecerão algumas dificuldades que não foram citadas nesse trabalho. Entre essas, pode-se citar: dificuldades de programar alguma função ou dificuldade de configurar o microcontrolador escolhido. De toda maneira, essas dificuldades são pertinentes a outras áreas de estudo. No que diz respeito a medição da PA de roedores, esse trabalho serve como guia para que o projetista não perda tempo com detalhes que já são bem explicados na literatura ou ainda para que o projetista não desenvolva um sistema fora da expectativa dos profissionais da área envolvida.

REFERÊNCIAS

ADINSTRUMENTS. Especificações do Transdutor MLT1199. *Datasheet: MLT1199 BP Transducer/Cable Kit*. Publicação Eletrônica, 2008.

ADINSTRUMENTS. Foto do Transdutor MLT1199.

Disponível em: < <https://www.adinstruments.com/products/bp-transducercable-kit> >

Acesso: 19 mar. 2017

BUÑAG, R.; MCCUBBIN, J.; PAGE, I. Lack of correlation between direct and indirect measurements of arterial pressure in unanaesthetized rats. **Cardiovascular research**, v. 5, n. 1, p. 24-31, 1971. BUÑAG, R.; BUTTERFIELD, J. Tail-cuff blood pressure measurement without external preheating in awake rats. **Hypertension**, v. 4, n. 6, p. 898-903, 1982.

BUÑAG, R. Facts and fallacies about measuring blood pressure in rats. **Clinical and Experimental Hypertension. Part A: Theory and Practice**, v. 5, n. 10, p. 1659-1681, 1983.

Catálogo de produtos Patola.

Disponível em: < http://www.patola.com.br/pt_PATOLA_CATALOGO_DIGITAL.pdf >

Acesso em: 19 mar. 2017

Catálogo de produtos JAEGER.

Disponível em:

<http://www.jaeger.com.gt/catalogo/informacion_producto/MEDICO_HOSPITALARIO/94/22>

Acesso em: 19 mar. 2017

CHANDRAN, K; RITTGERS, S; YOGANATHAN, A. **Biofluid Mechanics: The Human Circulation**. CRC Press, 2006 p.345.

CHOWDHURY, U.; HOLMAN, B.; FAUTSCH, P. A novel rat model to study the role of intracranial pressure modulation on optic neuropathies. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. e82151, 2013.

FALSETTI, H.; MATES, R.; CARROLL, R.; GUPTA, R.; BELL, A. Analysis and correction of pressure wave distortion in fluid-filled catheter systems. **Circulation**, v. 49, n. 1, p. 165-172, 1974.

GEIGER, R.; SANCHEZ-SINENCIO, E. Active filter design using operational transconductance amplifiers: a tutorial. **IEEE Circuits and Devices Magazine**, v. 1, n. 2, p. 20-32, 1985.

KANNEL, B.; GORDON, T.; SCHWARTZ, M. Systolic versus diastolic blood pressure and risk of coronary heart disease: the Framingham study. **The American journal of cardiology**, v. 27, n. 4, p. 335-346, 1971.

KREGE, J.; HODGIN J.; HAGAMAN J.; SMITHIES O. A noninvasive computerized tail-cuff system for measuring blood pressure in mice. **Hypertension**, v. 25, n. 5, p. 1111-1115, 1995.

KURTZ, T.; GRIFFIN, K.; BIDANI, A.; DAVISSON, R.; HALL, J.; Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals part 2: blood pressure measurement in experimental animals. A statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. **Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology**, v. 25, n. 3, p. e22-e33, 2005.

MEAN. In: Mean Arterial Pressure Calculator, 2011. Disponível em: < http://www.physiologyweb.com/calculators/mean_arterial_pressure_calculator.html >. Acesso em: 19 mar. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. WHAT Is Data Acquisition?

Disponível em: < <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/> >

Acesso em: 19 mar. 2017

RAO, R.; SRINIVASAN, S. A bandpass filter using the operational amplifier pole. **IEEE Journal of Solid-State circuits**, v. 8, n. 3, p. 245-246, 1973.

VAN VLIET, B.; CHAFE, L.; ANTIC, V.; SCHNYDER-CANDRIAN, S.; MONTANI, J. Direct and indirect methods used to study arterial blood pressure. **Journal of pharmacological and toxicological methods**, v. 44, n. 2, p. 361-373, 2000.

ZHU, H.; HARRIS, G.; WERTSCH, J.; TOMPKINS, W.; WEBSTER, J. A microprocessor-based data-acquisition system for measuring plantar pressures from ambulatory subjects. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 38, n. 7, p. 710-714, 1991.