



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BIOMEDICINA

KYARA CAROLINA SILVA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE SINAIS DE BIOMAGNÉTICOS UTILIZANDO GNU OCTAVE**

Barra do Garças- MT  
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BIOMEDICINA

KYARA CAROLINA SILVA OLIVEIRA

ANÁLISE DE SINAIS DE BIOMAGNÉTICOS UTILIZANDO GNU OCTAVE

Monografia apresentada à banca examinadora do Curso de Biomedicina do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Campus Universitário do Araguaia – UFMT, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Biomedicina.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto da Fonseca Filho

Barra do Garças – MT  
2023

## Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

O48a Oliveira, Kyara Carolina Silva.  
ANÁLISE DE SINAIS DE BIOMAGNÉTICOS UTILIZANDO GNU OCTAVE [recurso eletrônico] / Kyara Carolina Silva Oliveira. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 29 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Paulo Roberto da Fonseca Filho.  
TCC (graduação em Biomedicina) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Barra do Garças, 2023.  
Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.  
Inclui bibliografia.

1. Matlab. 2. Octave. 3. Processamento de Sinais. 4. Biosusceptometria AC. I. Fonseca Filho, Paulo Roberto da, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE BIOMEDICINA**  
**ATA DE DEFESA PÚBLICA**

Aos 17 dias do mês de maio do ano de 2023, às 8h00, em sala virtual *meet.google.com/swd-uzev-tam*, do *Campus* Universitário do Araguaia - UFMT na cidade de Barra do Garças, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso da acadêmica Kyara Carolina Silva Oliveira. A banca foi composta pelos seguintes membros: Prof. orientador Dr. Paulo Roberto da Fonseca Filho, Profa. Dra. Madileine Francely Américo e Prof. Dr. Eduardo Luzia França, sob a presidência do primeiro. O trabalho de curso tem como título "Análise de Sinais Biomagnéticos Utilizando GNU Octave". Após explanação no prazo regulamentar, a aluna foi interrogada pelos componentes da banca. Terminada essa etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram a aluna e conferiram a mesma o resultado **APROVADO** com nota 9,5, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a). Havendo requisitos a serem observados, os mesmo seguem registrados em folha anexa.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

1. **DR. PAULO ROBERTO DA FONSECA FILHO**
2. **DRA. MADILEINE FRANCELY AMÉRICO**
3. **DR. EDUARDO LUZIA FRANÇA**

**Recomendações da Banca:**

**Ciência do (a) Discente é realizada eletronicamente através do SEI.**

**BARRA DO GARÇAS, 17 DE MAIO DE 2023**



Documento assinado eletronicamente por **PAULO ROBERTO DA FONSECA FILHO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 22/05/2023, às 15:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Kyara Carolina Silva Oliveira, Usuário Externo**, em 22/05/2023, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **MADILEINE FRANCELY AMERICO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 22/05/2023, às 15:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO LUZIA FRANCA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 23/05/2023, às 11:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5810450** e o código CRC **21CF1C0B**.

---

**Referência:** Processo nº 23108.004857/2023-09

SEI nº 5810450

Dedico esta monografia aos meus pais, que nunca mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que nunca deixaram de me incentivar, até nos momentos mais difíceis, por todo o apoio, ajuda e por compreenderem minha ausência enquanto eu me dedicava a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, particularmente Rafaella e Athany, pela amizade incondicional, pelas palavras de encorajamento e força, pelos momentos que passamos juntas.

As minhas colegas de curso, Carolina e Gleice, sem vocês esta jornada teria sido infinitamente mais difícil.

Neto, por ter sido o meu ponto de apoio em meio a todas as dificuldades, pela compreensão, e paciência, por tornar as coisas mais leves, obrigada.

Ao Professor Dr. Paulo Roberto da Fonseca Filho, meu orientador, é com muita admiração e respeito que venho mostrar toda a minha gratidão. Obrigada por esclarecer tantas dúvidas e ser tão gentil e paciente.

Um agradecimento especial à Professora Dra. Madileine Francely Américo por ter cedido gentilmente dados tão importantes para a realização deste trabalho, sem a sua ajuda nada disso seria possível.

À Universidade Federal de Mato Grosso, seu corpo docente, a administração, direção e todos seus funcionários.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação, muito obrigada.

## RESUMO

A Biosusceptometria AC (BAC) é uma técnica biomagnética amplamente utilizada para análise de parâmetros relacionados ao trato gastrointestinal humano. O processamento dos sinais utiliza recursos como filtros digitais e visualização como RSA, todos esses recursos são comumente implementados em Matlab, que é um *software* proprietário utilizado globalmente para desenvolvimento e prototipagem por sua interface amigável e facilidade de uso. Uma das principais alternativas ao Matlab é o GNU Octave, um *software* que foi desenvolvido para compatibilidade com o Matlab e utiliza os mesmos princípios de desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi realizar a implementação de um *script* em GNU Octave compatível com aqueles utilizados e validados para BAC. Para tanto foram realizados testes com um sinal sintético e um sinal de BAC, que foram testados quanto à capacidade de filtragem e análise de Fourier. Em seguida foram implementados recursos para visualização de RSA (Running Spectral Analysis) e contagem de picos de frequência. Foi possível realizar todo o processamento de sinais de BAC no GNU Octave com elevada compatibilidade sem necessitar de recursos computacionais sofisticados ou treinamento para seu uso. Este é um programa livre que pode ser seguramente adotado sem comprometer o fluxo da pesquisa e liberando os recursos destinados ao licenciamento de *software* para melhor emprego no desenvolvimento da BAC.

Keywords: Matlab, Octave, Processamento de Sinais, Biosusceptometria AC.

## ABSTRACT

AC Biosusceptometry (ACB) is a widely used biomagnetic method for analyzing factors related to the human gastrointestinal tract. Digital filters and RSA (Running Spectral Analysis) visualization are two key-features utilized in ACB signal processing. MATLAB, a program widely used for development and prototyping due to its user-friendly interface and functionality, frequently implements all of these functions. GNU Octave, a program that shares the same development principles as MATLAB and was created to be compatible with it, is one of the most popular alternatives to MATLAB. Implementing a GNU octave script that is compatible with those used and approved for BAC was the goal of this work. To test Fourier's filtering and processing capabilities, tests using a synthetic signal and a ACB signal were conducted. Then procedures for frequency peak counting and RSA viewing were added. All BAC signal processing can be performed in the octave GNU with great compatibility, without the need for complex computing power or special skills. This is an entirely free app that certainly can be implemented without affecting the flow of ongoing research and destining software license funds for ACB development.

Keywords: MATLAB, Octave, Signal Processing, AC Biosusceptometry.

## LISTA DE FIGURAS

- **Figura 1:** Fluxograma demonstrando o passo a passo a ser seguido em ambiente OCTAVE para criar um sinal sintético.
- **Figura 2:** Fluxograma demonstrando o passo a passo a ser seguido em ambiente OCTAVE para desenvolver uma rotina.
- **Figura 3:** Gráfico demonstrando sinal sintético com ruído aleatório, composto pelas frequências de 23, 29 e 40 ciclos por minuto.
- **Figura 4:** Gráfico representando o espectro de potência do sinal sintético.
- **Figura 5:** Gráfico ilustrando os sinais original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro.
- **Figura 6:** Gráfico ilustrando o espectro de potências dos sinais original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro.
- **Figura 7:** Gráfico ilustrando os sinais de BAC original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro passa-banda.
- **Figura 8:** Gráfico ilustrando o espectro de Fourier dos sinais de BAC original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro passa-banda.
- **Figura 9:** RSA de um sinal de BAC.
- **Figura 10:** Histograma de amplitudes da RSA para indicação do limiar de máximo.
- **Figura 11:** Resultado da contagem de picos de frequência localizados nas faixas de frequência especificada.

**LISTA DE ABREVIATURAS**

- BAC: Biosusceptometria de Corrente Alternada
- GI: Gastrointestinal
- GLP: General Public License
- Hz: Hertz
- CPM: Ciclos por minuto
- RSA: Running Spectral Analysis

**SUMÁRIO**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. PROTÓTIPO EM OCTAVE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. ANÁLISE DE UM SINAL SINTÉTICO.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. VALIDAÇÃO A PARTIR DE UM SINAL BAC..</b>	<b>14</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. DESENVOLVIMENTO EM OCTAVE.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. ANÁLISE DE UM SINAL ARTIFICIAL.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 ANÁLISE DE UM SINAL BAC.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4 RSA.....</b>	<b>21</b>
<b>4.5 ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE.....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>24</b>
<b>7. APÊNDICE 1.....</b>	<b>25</b>
<b>8. APÊNDICE 2.....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os sinais biomédicos permitem o diagnóstico e a quantificação de diversas anomalias e patologias dos órgãos e sistemas de um ser vivo. Isso é possível graças à dispositivos que exploram diferentes propriedades físicas nos seres vivos como temperatura, pressão, elasticidade e refração, além de potenciais, correntes elétricas e campos magnéticos. Um dos registros mais clássicos do corpo é, propriamente o registro elétrico da atividade cardíaca durante sua contração, o eletrocardiograma (ECG).

Esse mesmo princípio de se medir a eletricidade gerada no corpo também se aplica aos órgãos do trato gastrintestinal, cérebro e músculos, dando origem ao eletrogastrograma (EGG), eletroencefalograma (EEG) e eletromiograma (EMG), respectivamente. Para executar uma contração ou transmitir um impulso nervoso, ocorre um fluxo de corrente que resulta nos potenciais de superfície mensurados pelas instrumentações mencionadas anteriormente ou ainda por dispositivos capazes de detectar o campo magnético associado a esses fluxos de corrente, como os SQUIDS (CARNEIRO *et al.*, 2000).

Os registros magnéticos dos tecidos biológicos (registros biomagnéticos) não se limitam apenas ao campo magnético produzido por células excitáveis, mas exploram também a resposta de traçadores e marcadores magnéticos no interior do corpo, como ocorre na Biosusceptometria de corrente alternada (BAC).

A BAC é uma instrumentação baseada em um gradiômetro de primeira ordem, capaz de medir a variação de fluxo magnético causada presença de material de elevada susceptibilidade magnética, seja um marcador, traçador ou nanopartícula magnética. A sensibilidade da BAC permitiu analisar importantes parâmetros relacionados à motilidade, esvaziamento e trânsito do trato gastrintestinal (TGI) de humanos e pequenos animais (MACHADO *et al.* 2022). A motilidade é analisada a partir dos sinais registrados pela BAC, especialmente quanto à frequência e amplitude das contrações nas diferentes porções do TGI. O processamento desses sinais emprega métodos como a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para aplicação de filtros, análise de principais componentes, entre outros, em ambiente MatLab® (Mathworks, Inc).

O MatLab é um *software* computacional para cálculo numérico e científico de alta performance, utilizado em todo mundo. Conta com pacotes (*toolboxes*) para aplicações específicas como controle, otimização, manipulação algébrica, redes neurais, sistemas *fuzzy*, processamento de sinais e imagens, sistemas dinâmicos, entre outros (The MathWorks, Natick, MA, 2012). Apesar do fácil uso e implementação, o MatLab é uma ferramenta computacional proprietária, disponível mediante aquisição de licenças que chegam a custar até 10 vezes mais que um compilador convencional, o que dificulta seu amplo acesso pela comunidade. Além disso, é uma linguagem interpretada, podendo ser mais lenta do que linguagens compiladas em tempo de execução e requerer maior capacidade computacional. (CORRÊA *et al.*, 2011).

Como alternativa ao MatLab surgiram *softwares* similares com elevado nível de compatibilidade para executar funções e *scripts*, como Scilab, Freemat e GNU Octave.

GNU Octave é uma linguagem computacional, desenvolvida para computação matemática. Possui uma interface em linha de comando para a solução de problemas numéricos, lineares e não-lineares, também é usada em experimentos numéricos. É um *software* livre sob os termos da licença GPL. Escrito por John W. Eaton, possui compatibilidade com MatLab, com muitas funções semelhantes (EATON *et al.*, 2023). Sabendo disso, neste trabalho, buscamos uma maneira de desenvolver um *script* em GNU Octave, que seja compatível com a linguagem MatLab, para processamento de sinais de BAC, reproduzindo as análises já publicadas em um estudo anterior para validação.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Realizar a implementação de um *script* em GNU Octave compatível com aqueles utilizados e validados para a Biosusceptometria de Corrente Alternada em ambiente MatLab.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Codificar as principais funções utilizadas para análise de sinais utilizando GNU Octave;
- Testar e validar o código desenvolvido a partir de um sinal sintético aleatório;
- Testar e validar o código na análise de um sinal biológico;
- Disponibilizar o código de forma aberta para a comunidade.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em duas etapas: desenvolvimento de um *script* (sequência de comandos) protótipo em Octave, seguido da fase de validação.

### 3.1. Protótipo em Octave

Para desenvolver o protótipo, foram analisados os principais *scripts* desenvolvidos anteriormente para BAC (FONSECA; STELZER, 2014) e suas funcionalidades, parâmetros de configuração de filtros, amostragem e outras características relevantes.

Em seguida, um fluxograma (Figura 1) foi proposto para posterior implementação em Octave, mantendo as etapas de processamento, a fim de que os usuários não tivessem dificuldade na transição de um sistema para outro.

Finalizado o protótipo, foi dada importância na documentação do código, com comentários em linguagem simplificada a cada etapa de processamento, a fim de que o usuário também pudesse modificar o código sem necessitar de auxílio especializado.

### **3.2. Análise de um sinal sintético**

Para testes, foi gerado um sinal composto por três frequências diferentes, sendo 40 cpm na alta frequência, 29 cpm e 23 cpm na baixa frequência, características da motilidade gastrointestinal de camundongos de linhagem BALB/c e C57BL/6J, respectivamente, respeitando a mesma taxa de aquisição da BAC, de 20 Hz (GAMA *et al.*, 2020).

A este sinal posteriormente foi adicionado ruído aleatório de baixa amplitude e aplicado um filtro *butterwoth* de segunda ordem utilizando o pacote de processamento de sinais do GNU OCTAVE.

### **3.3. Validação a partir de um sinal de BAC**

A validação com sinais biológicos se deu a partir de registros da contratilidade do músculo liso e o trânsito gastrointestinal de camundongos analisados através de BAC, já publicados em (GAMA *et al.*, 2020; SALES, 2019) e gentilmente cedidos pelo Laboratório de Fisiologia e Toxicologia Reprodutiva (FISIOTOX).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Desenvolvimento em Octave

A primeira parte do desenvolvimento utilizou um *script* para gerar sinais senoidais com algum nível de ruído aleatório para simular um sinal biológico, e exibir seus gráficos. Para aplicar um filtro *butterworth* de segunda ordem do tipo passa-bandas, comumente adotado na análise de sinais por BAC, foi utilizado o pacote de processamento de sinais versão 1.4.3 (SIGNAL PACKAGE, 2023). A estrutura do *script* pode ser visualizada na figura 1, e o código no Apêndice 1.

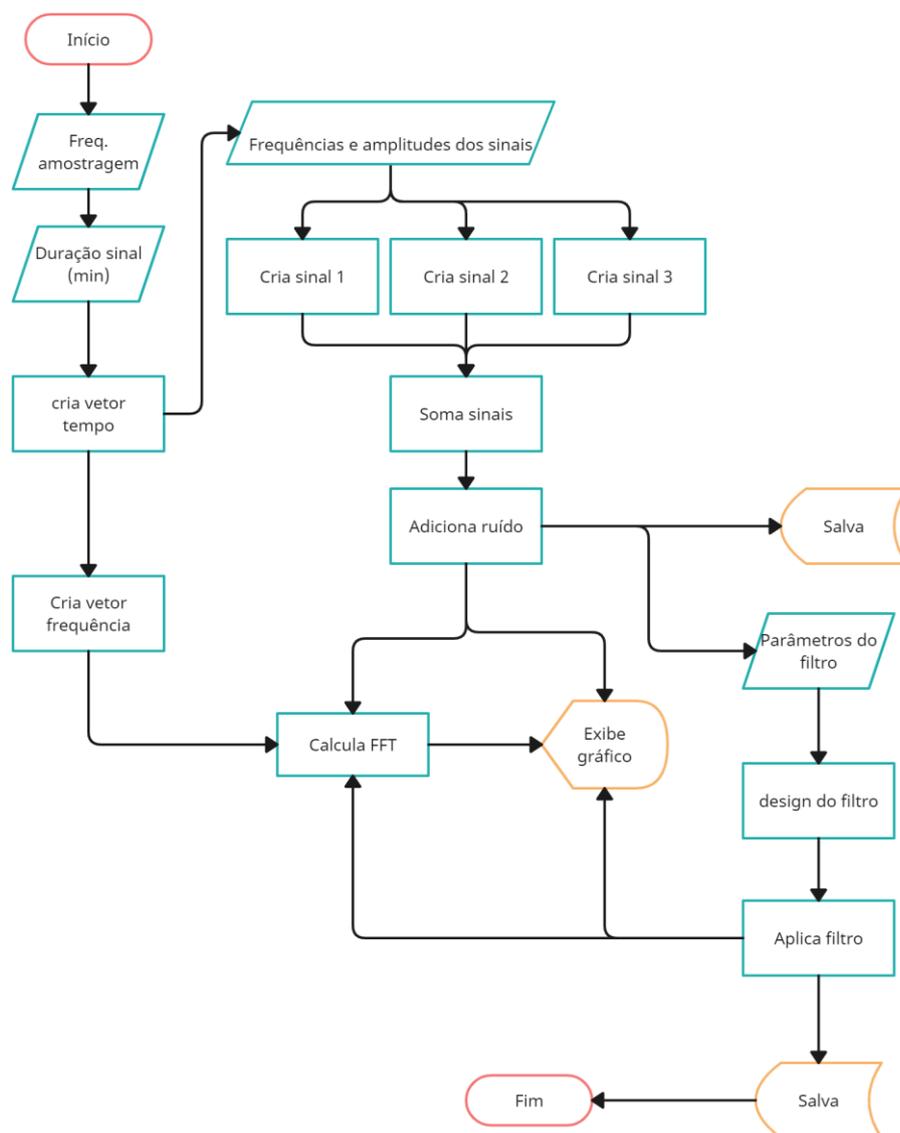


Figura 1: Fluxograma do *script* de testes para as funcionalidades de exibição de gráficos e processamento de um sinal artificial.

Utilizando os mesmos recursos, foi desenvolvida uma rotina para construir a RSA (*running spectral analysis*) e analisar os picos de amplitude no espectro de Fourier, metodologia comumente utilizada nos sinais de BAC. A estrutura do *script* pode ser visualizada na figura 2, e o código no Apêndice 2.

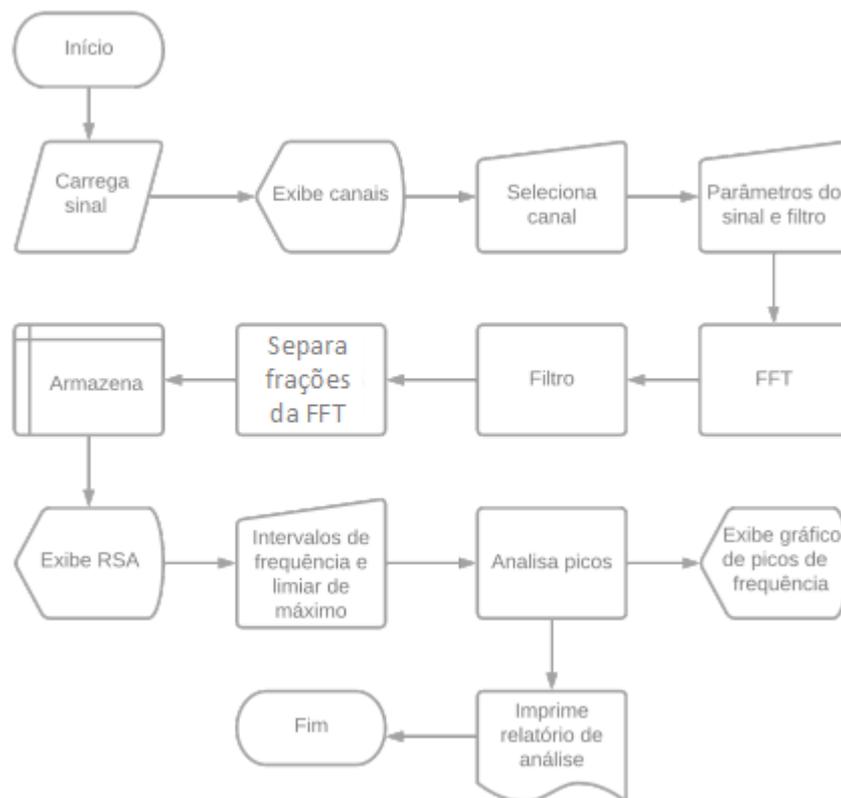


Figura 2: Fluxograma do *script* para desenvolvimento de rotina.

#### 4.2. Análise de um sinal artificial

O sinal sintético e espectro de Fourier correspondente são apresentados nas figuras 3 e 4. Como o sinal era composto por três ondas senoidais de frequências e amplitudes diferentes (23 CPM com amplitude 30, 29 CMP com amplitude 20 e 40 CMP com amplitude 10), esses valores são facilmente visualizados no espectro de Fourier

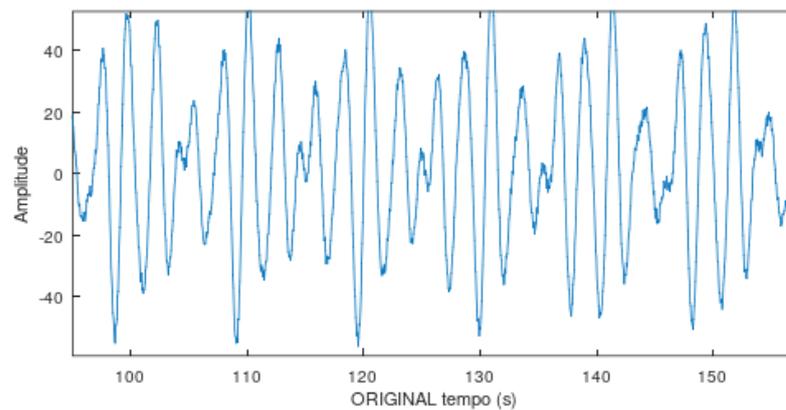


Figura 3: Representação temporal do sinal sintético com ruído aleatório, composto pelas frequências de 23, 29 e 40 ciclos por minuto.

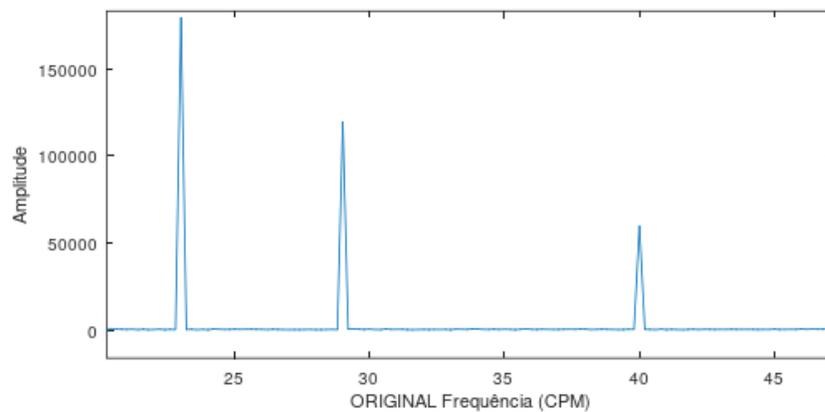


Figura 4: Espectro de potência do sinal sintético, em que ficam evidentes as frequências de 23, 29 e 40 ciclos por minuto.

Em seguida foi aplicado um filtro *butterworth* de segunda ordem do tipo passa-banda, com frequências de corte de 10 e 35 CPM. Para efeitos de comparação, são apresentados o sinal original e o filtrado na figura 5 e seus espectros de Fourier na figura 6. O filtro foi eficiente para remover o ruído (alta frequência) sem causar deformações ou alteração de fase no sinal. Como a frequência de corte era menor que 40 CPM, vê-se a diminuição da amplitude dessa frequência no sinal filtrado.

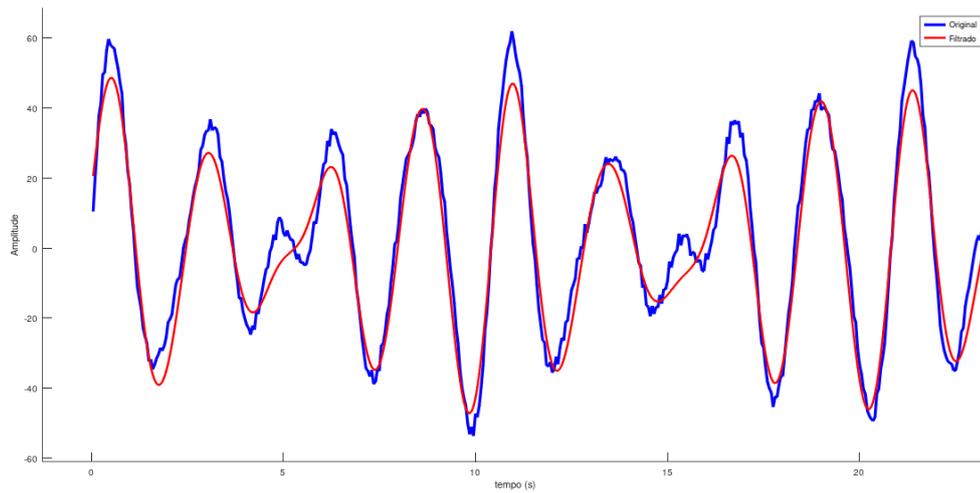


Figura 5: Extrato de 20 segundos dos sinais original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro.

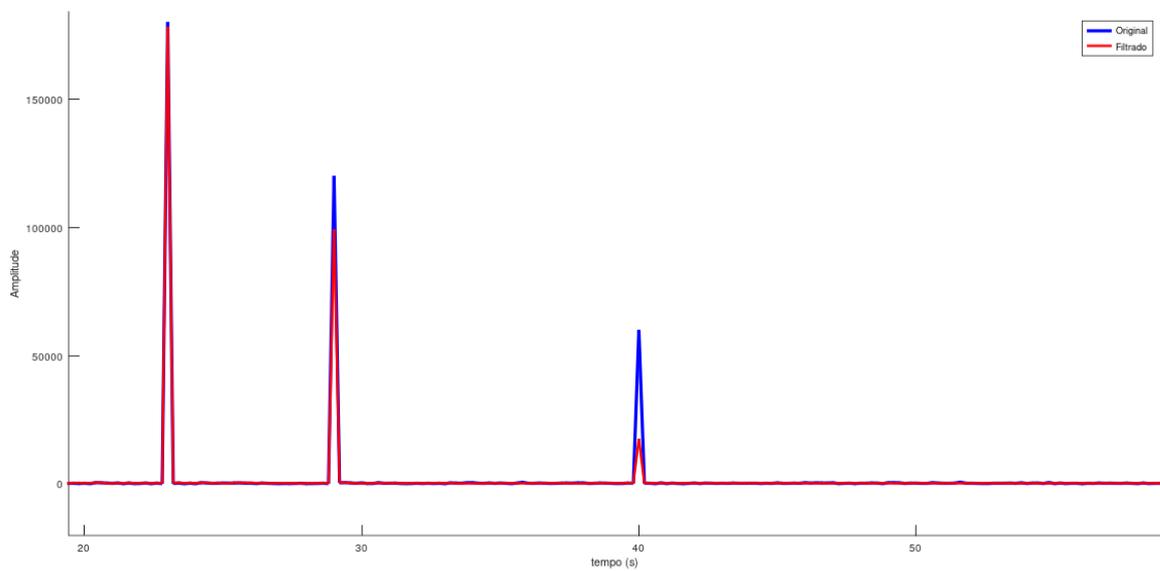


Figura 6: Espectro de potências dos sinais original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro.

### 4.3. Análise de um sinal BAC

Aplicando o *script* da figura 1 a um sinal de BAC, mantendo os parâmetros de filtro utilizados na seção anterior, obtém-se as figuras 7 e 8, que representam o sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência, respectivamente.

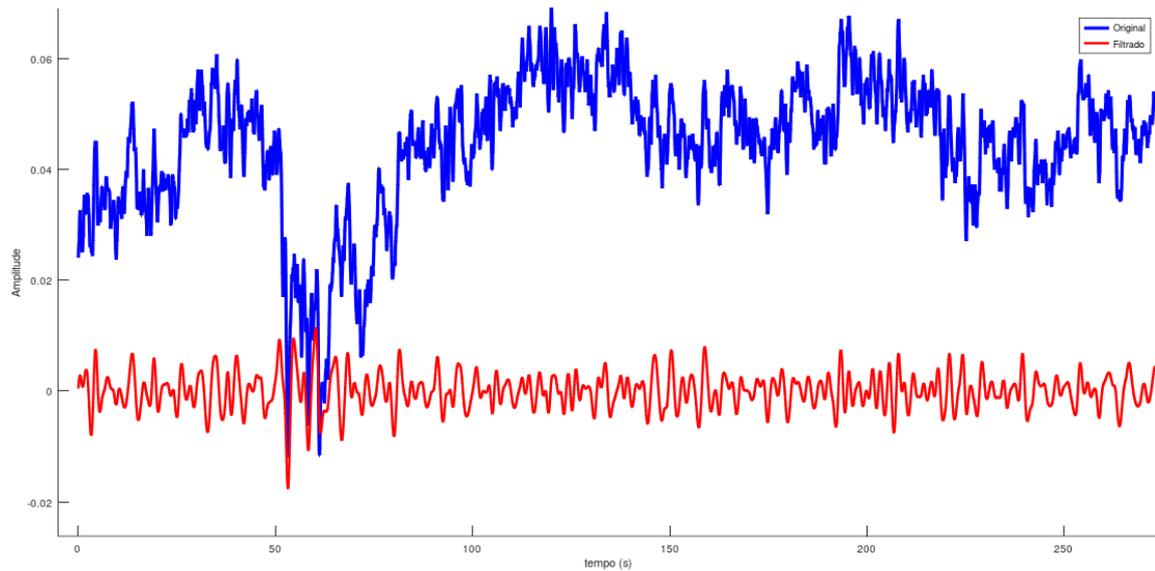


Figura 7: Sinais de BAC original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro passa-banda.

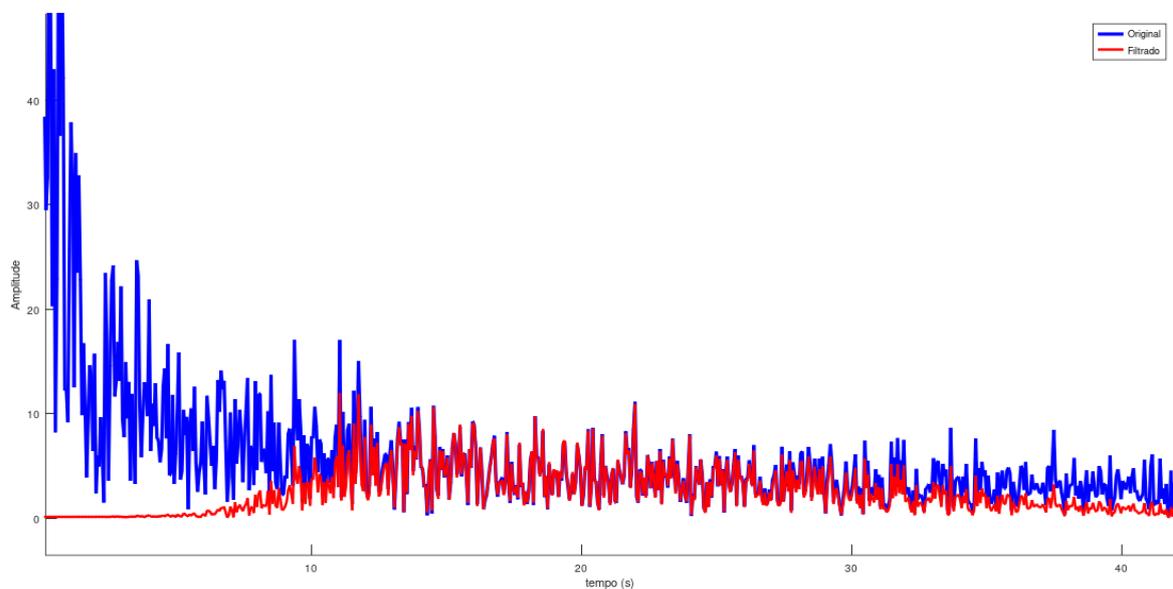


Figura 8: Espectro de Fourier dos sinais de BAC original (azul) e filtrado (vermelho) sobrepostos para visualização do efeito do filtro passa-banda.

A aplicação do filtro passa-banda tem um papel importante na análise de sinais de BAC principalmente para remover oscilações de baixa frequência oriundas de movimentos respiratórios ou do acoplamento do transdutor com a pele. Também foram retirados do sinal contribuições significativas do ruído (alta frequência) permitindo a visualização mais nítida da porção que contempla as frequências dominantes no TGI.

#### 4.4. RSA

A segunda implementação para análise do espectro de potências é a *running spectral analysis*, que representa o espectro de Fourier para intervalos de tempo igualmente espaçados. Essa visualização permite observar como a composição de frequências do sinal muda ao longo do tempo, o que pode ser importante para avaliar o efeito de drogas como em Andreis *et al* 2008.

A figura a seguir representa a RSA calculada para o sinal da figura 7 após aplicação de um filtro passa-banda.

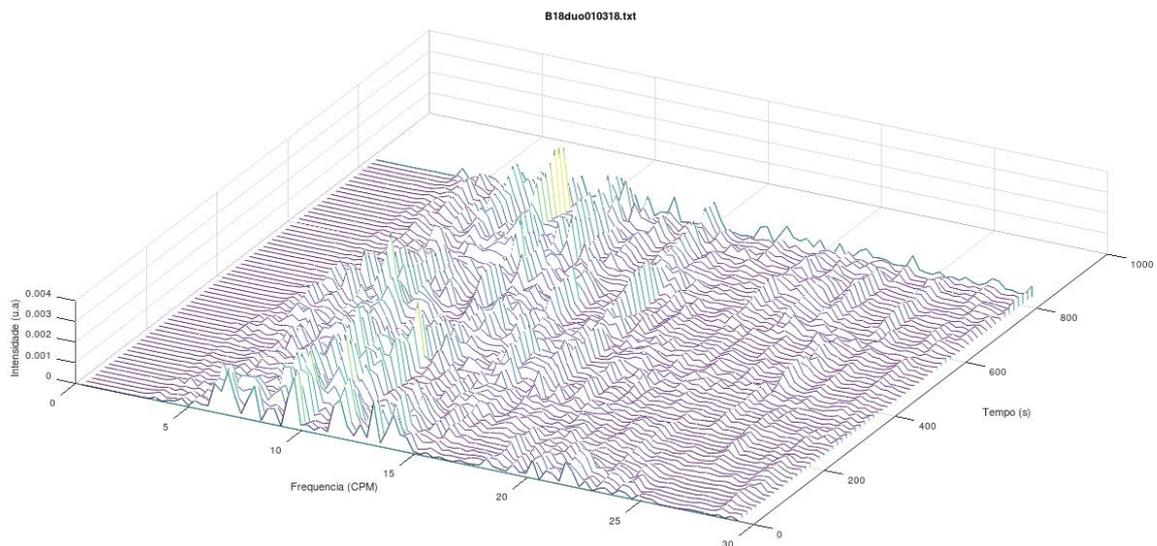


Figura 9: RSA de um sinal de BAC.

A etapa seguinte da rotina permitia visualizar a distribuição dos valores na RSA para indicar um limiar a partir do qual os valores serão considerados máximos.

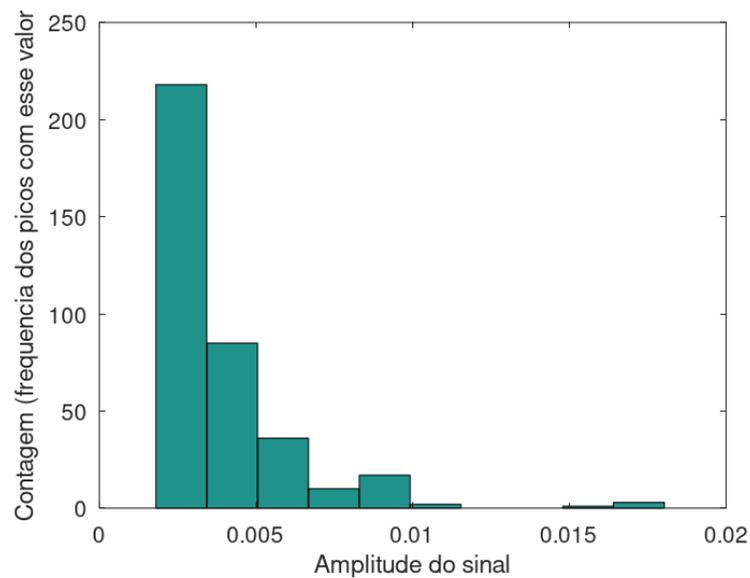


Figura 10: Histograma de amplitudes da RSA para indicação do limiar de máximo.

Em seguida o usuário indica as faixas de frequência em que deseja computar os picos encontrados na etapa anterior. O resultado é apresentado no gráfico de barras da figura 11 e um relatório escrito é salvo no mesmo diretório do sinal (figura 12).

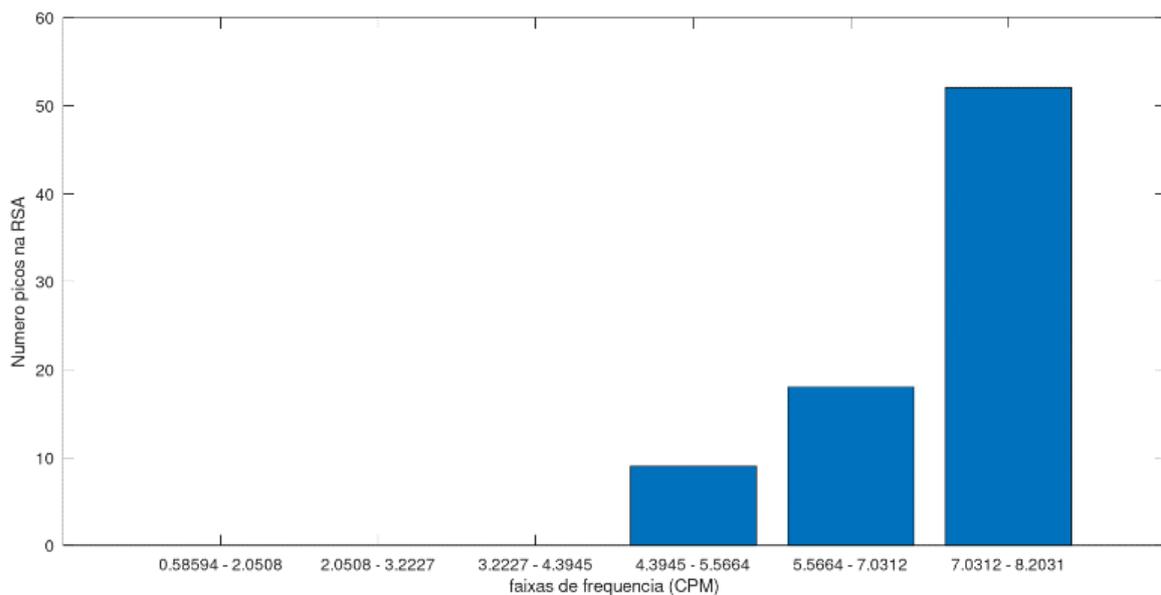


Figura 11: Resultado da contagem de picos de frequência localizados nas faixas de frequência especificadas.

```

Arquivo processado:
X:\B18duo010318.txt Canal: 2
Este sinal possui 66 linhas na RSA

O usuario selecionou os seguintes intervalos (CPM):
0      1.8      3      4.2      5.4      6.6      7.8
Com limiar de intensidade em 0.001

Faixa 1) 0.58594 - 2.0508 CPM: 0 (0.00 % dos casos)
Faixa 2) 2.0508 - 3.2227 CPM: 0 (0.00 % dos casos)
Faixa 3) 3.2227 - 4.3945 CPM: 0 (0.00 % dos casos)
Faixa 4) 4.3945 - 5.5664 CPM: 9 (13.64 % dos casos)
Faixa 5) 5.5664 - 7.0312 CPM: 18 (27.27 % dos casos)
Faixa 6) 7.0312 - 8.2031 CPM: 52 (78.79 % dos casos)

```

Figura 12: Relatório da contagem de picos de frequência localizados nas faixas de frequência especificadas.

#### 4.5. Análise de compatibilidade

Após a execução dos testes das seções anteriores foi possível verificar que houve grande compatibilidade entre as rotinas utilizadas em MatLab e Octave, com pequenas variações na sintaxe de comandos para entrada de dados. O pacote de processamento de sinais do Octave possui todas as funcionalidades necessárias para o processamento de sinais de BAC.

A visualização gráfica, contudo, possui interface um pouco mais simples, mas aceita ajustes de legendas, eixos e outros atributos através de comandos via *prompt de comando* ou editor de rotinas.

O editor ainda não possui os recursos para visualização de erros de sintaxe durante a implementação do código e esquema de cores para diferenciar comandos, estruturas de controle e variáveis, mas é igualmente flexível e de fácil uso.

O Octave consumiu menos recursos computacionais, permitindo o carregamento do *software* e sua utilização com mais facilidade em computadores com configuração mais modesta.

## 5. CONCLUSÃO

Foi possível realizar o processamento de sinais de BAC no GNU Octave utilizando o pacote de processamento de sinais já implementado no *software* com elevada compatibilidade sem necessitar de recursos computacionais sofisticados ou treinamento para seu uso. Este é um programa livre que pode ser seguramente adotado sem comprometer o fluxo da pesquisa e liberando os recursos destinados ao licenciamento de *software* para melhor emprego no desenvolvimento da BAC.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMÉRICO, M. F.; MARQUES, R. G.; ZANDONÁ, E. A.; ANDREIS, U.; STELZER, M.; CORÁ, L. A.; OLIVEIRA, R. B.; MIRANDA, J. R. A. Validation of ACB in vitro and in vivo as a biomagnetic method for measuring stomach contraction. **Neurogastroenterology and motility**, v. 22, n. 12, p. 1340–4, e374, dez. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2010.01582.x>.

AMÉRICO, M. F.; MIRANDA, J. R. A.; CORÁ, L. A.; ROMEIRO, F. G. Electrical and mechanical effects of hyoscine butylbromide on the human stomach: a non-invasive approach. **Physiol Meas**, v. 30, n. 4, p. 363–370, 2009. DOI 10.1088/0967-3334/30/4/002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/30/4/002>.

AMÉRICO, M. F.; OLIVEIRA, R. B.; CORÁ, L. A.; MARQUES, R. G.; ROMEIRO, F. G.; ANDREIS, U.; MIRANDA, J. R. A. The ACB technique: a biomagnetic tool for monitoring gastrointestinal contraction directly from smooth muscle in dogs. **Physiological Measurement**, v. 31, n. 2, p. 159–169, fev. 2010. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/2/003>.

ANDREIS, U.; AMÉRICO, M. F.; CORÁ, L. A.; OLIVEIRA, R. B.; BAFFA, O.; MIRANDA, J. R. A. Gastric motility evaluated by electrogastrography and alternating current biosusceptometry in dogs. **Physiological measurement**, v. 29, n. 9, p. 1023–31, set. 2008. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/29/9/002>.

CARNEIRO, A. A. O.; FERREIRA, A.; MORAES, E. R.; ARAUJO, D. B.; SOSA, M.; BAFFA, O. Biomagnetismo: Aspectos Instrumentais e Aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 324–338, 2000. Disponível em: [http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_324](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_324).

FONSECA, P. R.; STELZER, M. **BACBox**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://github.com/prfonseca/BACBox>. Acesso em: 5 maio 2023.

MARQUES, R. G. **Modelo de estudo da motilidade gastrointestinal utilizando a eletromiografia (EMG) e a biosusceptometria AC (BAC) em ratos normais, desnutridos e diabéticos induzidas pela aloxana**. 2011. 81 f. Tese (Doutorado em Bases Gerais da Cirurgia) – UNESP - Univ Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101076>. Acesso em: 2 maio 2023.

## 7. APENDICE 1

### Código do *script* para geração de um sinal artificial e testes de processamento

```

close all % fecha todas janelas ativas
clear    % limpa as variaveis armazenadas
clc      % limpa a janela de comandos

pkg load signal % carrega pacote de sinais

% frequencia de aquisição (Hz)
fa=20;

% duração do sinal (s)
tempo=450;

% eixo do tempo
t=1/fa:1/fa:tempo/fa;

% criando os sinais
sinal1=10*sin(2*pi*40/60*t);
sinal2=10*sin(2*pi*29/60*t);
sinal3=10*sin(2*pi*23/60*t);

sinal=sinal1+sinal2+sinal3;

% ruído aleatório com amplitude 40% do sinal
sinal=sinal+4*rand(size(sinal));

% transformada de Fourier do sinal (potência espectral)
F = fft (sinal);

% desprezando metade do espectro, por ser simétrico
[sx, sy]=size(F); % dimensões do vetor F

F=2*F(sx,1:sy/2); %eliminando metade dos pontos no eixo y

% criando eixo de frequencia
freq=fa*(0:(sy/2-1))/sy;
freq=freq*60;

% filtro Butterworth
n=2; % segunda ordem
w=[0.02 0.15]; % faixa de frequencia para o filtro (CPM)
w=w/60; % faixa de frequencia para Hz
w=w/(fa/2); % calculo das frequencias de corte, corrigindo para o valor da freq aquisição

type= 'bandpass';% tipo de filtro. Pode ser ('low', 'high', 'bandpass', ou 'stop')

[b,a] = butter (n,w);
figure, freqz(b,a);

% aplica o filtro
sinalf = filtfilt(b,a,sinal);

% Verificando FFT do sinal filtrado
FF = fft (sinalf);
FF=2*FF(sx,1:sy/2);

% visualizando a potência espectral do sinal filtrado
figure, plot(freq, abs(FF))
xlabel('Frequência (CPM)')
ylabel('Amplitude')

figure,
subplot(221); plot(t,sinal)
xlabel('ORIGINAL tempo (s)')
ylabel('Amplitude')

```

```
subplot(222); plot(t,sinalf)
xlabel('tempo (s)')
ylabel('Amplitude')

subplot(223); plot(freq, abs(F))
xlabel('ORIGINAL Frequência (CPM)')
ylabel('Amplitude')

subplot(224); plot(freq, abs(FF))
xlabel('Frequência (CPM)')
ylabel('Amplitude')
```

## 8. APENDICE 2

### Script para geração de RSA e análise de frequências para sinais de BAC

```

%%% Rotina RSA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% seleciona um sinal, carrega e calcula rsa fazendo analise por faixa de
% frequencias
%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PARTE 1 seleciona sinal e carrega %%%%%%%%%

clc;          %limpa tela
clear;        % limpa workspace
close all;    % fecha todas as janelas

pkg load signal % carrega pacote de sinais

%interface para selecionar sinal
[fname, pname]=uigetfile('*.wav', 'Carregar sinal',cd);

sinal=load(fullfile(pname,fname));          % carrega sinal
disp('arquivo selecionado')                % exibe informações
disp(fullfile(pname,fname))
disp('')

% coleta informacoes do sinal
n=length(sinal);                            % numero de pontos
numcanais=size(sinal,2);                   % numero de canais
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PARTE 2 parametros importantes %%%%%%%%%
% exibe previa dos sinais
figure,
for contasig=1:numcanais
    subplot(str2num([num2str(numcanais), '1', num2str(contasig)]));
    plot(sinal(:,contasig)); title(['canal ', num2str(contasig)]);
end

% verifica qual canal sera usado
disp(['Este sinal possui ', num2str(numcanais), ' canais,'])
disp('quais deles devem ser utilizados?')
disp('ex: [num, num, num]');
canal = input('');

clear contasig % limpa variavel que não vai usar
close          % fecha figura

if isempty(canal); canal=1:size(sinal,2); end

% coleta frequencia de amostragem
disp('Qual a frequencia de amostragem (Hz)? ')
disp('ENTER para 20 Hz')
faq=input('');

if isempty(faq); faq=20; end

% seleciona tipo de filtro e parâmetros
disp('')
disp('Qual tipo de filtro você quer usar?')
disp('')

disp('1: passa-banda')

```

```

disp('2: passa-alta')
disp('3: passa-baixa')
disp('4: rejeita-banda')
disp('ENTER para passa-banda')
tipofiltro=input('');

if isempty(tipofiltro);
    tipofiltro='bandpass';
    disp('Qual a frequencia de corte em CICLOS POR MINUTO?')
    disp('[inferior, superior]')
    w=input('');% faixa de frequencia para o filtro em CICLOS POR MINUTO
elseif tipofiltro==1
    tipofiltro='bandpass';
    disp('Qual a frequencia de corte em CICLOS POR MINUTO?')
    disp('[inferior superior]')
    w=input('');% faixa de frequencia para o filtro em CICLOS POR MINUTO
elseif tipofiltro==2
    tipofiltro='high';
    disp('Qual a frequencia de corte em CICLOS POR MINUTO?')
    w=input(''); % faixa de frequencia para o filtro em CICLOS POR MINUTO

elseif tipofiltro==3
    tipofiltro='low';
    disp('Qual a frequencia de corte em CICLOS POR MINUTO?')
    w=input('');% faixa de frequencia para o filtro em CICLOS POR MINUTO

elseif tipofiltro==4;
    tipofiltro='stop'
    disp('Qual a frequencia de corte em CICLOS POR MINUTO?')
    disp('[inferior, superior]')
    w=input(''); % faixa de frequencia para o filtro em CICLOS POR MINUTO
else
    error('escolha uma opção válida')
end

% Parâmetros do filtro Butterworth
ordem=2;          % segunda ordem
w=w/60;          % faixa de frequencia em Hz
w=w/(faq/2);     % calculo das frequencias de corte, corrigindo para o valor da freq aquisição
[B,A]=butter(ordem,w); %calcula filtro

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PARTE 3 RSA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% parametros para RSA

for ci = canal
    figure;          %abre uma figura
    rsal=[];        %cria matriz da RSA
    ini=1;
    m=1;
    k=100;
    passo=256;      %Este valor define o numero de pontos do intervalo a ser feita a FFT
    fim=4096 ;      %Para RSA o fim deve ser de 2 vezes o passo
    f=(m:k)*(faq/2)/(fim/2); %eixo de frequencia da RSA em Hz
    f=f*60;         %eixo de frequencia da RSA em CPM

    fim1=fim;
    M=sinal(1:n,ci); % seleciona o canal do sinal
    M=M-mean(M);    % subtrai o valor médio do sinal
    cont=0;

    FF=filtfilt(B,A,M); % aplica o filtro Butterworth configurado

```



```

frequencias=f';
[nlinhas,ncols]=size(dadosrsa);
dadosrsa(dadosrsa<limiarmax)=0; % descarta valores menores que o limiar

% busca correspondencia entre intervalos e o eixo de frequencias
intervalosadj=zeros(size(intervalos)); %variavel para armazenar novos intervalos
for containt=1:length(intervalos)
    valorint=intervalos(containt);
    contafreq=0;
    errofreq=inf;
    while contafreq<=length(frequencias)
        contafreq=contafreq+1;
        errofregnovo=abs(valorint-frequencias(contafreq));
        if errofregnovo<errofreq
            errofreq=errofregnovo;
        elseif errofregnovo>errofreq
            errofreq=errofregnovo;
            intervalosadj(containt)=frequencias(contafreq);
            break
        end
    end
end

% informa o usuario
disp('Os intervalos de frequencia (CPM) selecionados foram:')
disp(intervalos)
disp('')
disp('Estes foram "ajustados" para as seguintes frequencias disponiveis:')
disp(intervalosadj)

% determina a posicao
posmax=zeros(size(intervalosadj));
for c=1:length(intervalosadj)
    posmax(c)=find(frequencias==intervalosadj(c));
end

% determina os maximos em cada faixa de freq da rsa
maximos=zeros(size(dadosrsa,1),(size(posmax,2)-1));
for c=1:(size(posmax,2)-1)
    aux=dadosrsa(:,posmax(c):posmax(c+1));
    maximos(:,c)=max(aux,[],2);
    etiqueta(c).nome=[num2str(intervalosadj(c)),' - ', num2str(intervalosadj(c+1))];
%#ok<AGROW>
end

% numero de maximos em cada faixa
contatudo=sum(maximos~=0);

% seleciona qual a faixa de referencia e normaliza
for k=1:length(etiqueta)
    disp([num2str(k),char(' '),char(etiqueta(k).nome)])
end
disp('deseja utilizar alguma destas como referencia?')
disp('1-> sim')
disp('0-> nao')
querref=input('');
if querref==1
    clc;
    for k=1:length(etiqueta)
        disp([num2str(k),char(' '),char(etiqueta(k).nome)])
    end
    disp('destas, qual sera a sua faixa de referencia? (especifique o numero)')
    referencia=input('');
    infocontatudo=contatudo/contatudo(referencia);
    stringnorm=['Normalizado em relacao a faixa ',num2str(referencia)];
    labeleixoy=['Numero de',10,' picos na faixa de referencia'];
else
    referencia=size(dadosrsa,1);
    infocontatudo=contatudo/referencia;

```

```

stringnorm='';
    labeleixoy='Numero picos na RSA';
end

% representando as informacoes
figure1 = figure; % cria figura
% cria eixos
axes('Parent',figure1,...
    'XTickLabel',char(etiqueta.nome),...
    'XTick',1:length(contatado));
box('on');
hold('all');
bar(1:length(contatado),contatado); % grafico de barras
if querref==1
    bar(referencia,contatado(referencia),'r') % barra de referencia
end
xlabel('faixas de frequencia (CPM)') % nomeia eixos
ylabel(labeleixoy)

parenteses=[];
for c=1:length(contatado)
    parenteses(c,:)=) '; %#ok<AGROW>
end
[s1,s2]=strtok(fname, '.'); if strcmp(s2, '.txt')~=1;s2='.rtf';end;
nomesaida=fullfile(pname,[s1,'_canal_',num2str(ci),'_faixa',s2]);
fid=fopen(nomesaida,'w+');
fprintf(fid, 'Arquivo processado: \n %s Canal: %d \n \n',fullfile(pname,fname),ci);
fprintf(fid, 'Este sinal possui %d linhas na RSA \n \n',nlinhas);
fprintf(fid, 'O usuario selecionou os seguintes intervalos (CPM): \n %s
\n',num2str(intervalos));
fprintf(fid, 'Com limiar de intensidade em %s \n\n', num2str(limiarmax));
for k=1:length(etiqueta)
    fprintf(fid,'Faixa %d) %s CPM: %d (%3.2f %% dos casos) %s
\n',k,char(etiqueta(k).nome),contatado(k),infocontatado(k)*100, stringnorm);
end
fclose(fid);
end

disp('Relatorio salvo em:')
disp(nomesaida)

```