



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

Autor: Heleno da Silva Moraes
Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Brasília, DF
2017



Heleno da Silva Moraes

Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Coorientador: Dr, Marcus Vinícius Chaffim Costa

Brasília, DF

2017

Heleno da Silva Morais

Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA/ Heleno da Silva Morais. – Brasília, DF, 2017-
57 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2017.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. I. PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

CDU 02:141:005.6

Errata

Elemento opcional da ??, 4.2.1.2). **Caso não deseje uma errata, deixar todo este arquivo em branco.** Exemplo:

FERRIGNO, C. R. A. **Tratamento de neoplasias ósseas apendiculares com reimplantação de enxerto ósseo autólogo autoclavado associado ao plasma rico em plaquetas:** estudo crítico na cirurgia de preservação de membro em cães. 2011. 128 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
1	10	auto-conclavo	autoconclavo

Heleno da Silva Moraes

Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2013 – Data da aprovação do trabalho:

PhD, Daniel Mauricio Muñoz
Arboleda
Orientador

Titulação e Nome do Professor
Convidado 01
Convidado 1

Titulação e Nome do Professor
Convidado 02
Convidado 2

Brasília, DF
2017

**A dedicatória é opcional. Caso não deseje uma, deixar todo este arquivo em
branco.**

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (sem negritos, aspas ou itálico)*.

Caso não deseje utilizar os agradecimentos, deixar toda este arquivo em branco.

A epígrafe é opcional. Caso não deseje uma, deixe todo este arquivo em
branco.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

Resumo

Brain Computer Interface (BCI) são sistemas que realizam a comunicação entre o cérebro e um computador. A comunicação é realizada através de eletroencefalogramas (EEG), que capta sinais/comandos elétricos, a partir de atividades cerebrais. O maior desafio do BCI é uma classificação correta e principalmente eficiente de comandos. *(Siuly)*

Palavras-chaves: BCI. classificadores. FPGA.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Wavelets correlation coefficients	39
--	----

Lista de tabelas

Tabela 1 – Número de tarefas rotuladas e não rotuladas por sujeito (BLANKERTZ et al., 2006).	30
Tabela 2 – Propriedades obtidas após processamento	40

Lista de abreviaturas e siglas

BCI	<i>Brain Computer Interface</i>
EEG	Eletroencefalograma
SNC	Sistema Nervoso Central

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
	Introdução	27
1.1	Contextualização	27
1.2	Questão de Pesquisa	28
1.3	Justificativa	28
1.4	Objetivos	28
1.4.1	Objetivos Gerais	28
1.4.2	Objetivos Específicos	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	O Cérebro	29
2.2	Eletroencefalografia	29
2.3	<i>Brain Computer Interface</i>	29
2.4	<i>BCI Competition</i>	29
2.4.1	<i>BCI Competition III</i>	29
2.4.2	<i>BCI Competition III - Dataset IVa</i>	30
2.5	<i>Linear Discriminant Analysis</i>	31
2.6	<i>System-on-Chip</i>	31
2.7	Estado da Arte	31
3	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ELEMENTOS TEXTUAIS	33
3.1	Introdução	33
3.2	Desenvolvimento	33
3.3	Uso de editores de texto	34
I	TEXTO E PÓS TEXTO	35
4	ELEMENTOS DO TEXTO	37
4.1	Corpo do Texto	37
4.2	Títulos de capítulos e seções	37
4.3	Notas de rodapé	37
4.4	Equações	38
4.5	Figuras e Gráficos	38
4.6	Tabela	40
4.7	Citação de Referências	41

5	ELEMENTOS DO PÓS-TEXTO	43
5.1	Referências Bibliográficas	43
5.2	Anexos	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICES	47
	APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE	49
	APÊNDICE B – SEGUNDO APÊNDICE	51
	ANEXOS	53
	ANEXO A – PRIMEIRO ANEXO	55
	ANEXO B – SEGUNDO ANEXO	57

1 Introdução

1.1 Contextualização

Através de uma rede de mais de 100 bilhões de células nervosas interconectadas, o cérebro realiza o controle de nossas ações, percepções, emoções e etc (KANDEL, 2013). Estas células são chamadas de *neurônios*, e neles são armazenados sinais elétricos, que representam todas as informações de controle (SIULY; LI; ZHANG, 2017). Estes sinais podem ser medidos pela eletroencefalografia (EEG), que é um sistema de medição de sinais elétricos produzidos pelo cérebro durante atividades cerebrais (LOTTE; GUAN, 2011). Segundo (SIULY, 2012), a EEG é uma das mais importantes ferramentas para diagnosticar doenças cerebrais.

Além do diagnóstico de doenças cerebrais uma outra aplicação para os sinais adquiridos pela EEG são as *Brain Computer Interfaces* (BCIs) (LOTTE; GUAN, 2011). Uma BCI é um sistema que realiza a comunicação entre o cérebro e um computador (SIULY; LI; ZHANG, 2017), onde sua principal função é a tradução dos sinais elétricos, obtidos através da EEG, em comandos de controle para qualquer dispositivo eletrônico (SIULY; LI; ZHANG, 2017).

A BCI realiza a tradução destes comandos através de seis passos: 1) medição dos sinais provenientes de atividades cerebrais através da EEG, 2) pré-processamento destes sinais, 3) extração de características, 4) classificação, 5) tradução dos sinais em comandos e 6) realimentação (MASON; BIRCH, 2003). Um dos principais passos para a implementação de uma BCI é a classificação, pois é após este passo que é realizada a tradução dos sinais da EEG em comandos de controle (MASON; BIRCH, 2003).

A classificação de um sinal é caracterizada, em aprendizado de máquina e em reconhecimento de padrões, como um algoritmo que atribui parte de um dado sinal de entrada a um dado número de classes ou categorias (BRUNELLI, 2009). Um exemplo é a classificação de um e-mail como "spam" ou "não-spam". Os algoritmos que realizam a classificação dos sinais de entrada são chamados de **classificadores** (SIULY; LI; ZHANG, 2017). De acordo com (LOTTE, 2008), "estes classificadores são capazes de aprender como identificar um vetor de características, graças aos processos de treinamentos". Estes conjuntos são formados por vetores de características previamente atribuídos às suas respectivas classes.

O algoritmo que realiza a classificação é caracterizado por uma função matemática que mapeia um sinal de entrada em sua respectiva classe (LOTTE, 2008). Os classificadores preferidos pelos pesquisadores são os **classificadores supervisionados**, pois estes

tipos de classificadores necessitam de um conjunto de dados de treinamento. Ou seja, o conjunto de dados necessários para um classificador supervisionado são divididos em: dados de treino e dados de testes. (SIULY; LI; ZHANG, 2017).

Portanto os classificadores do tipo supervisionados são implementados a partir de dois processos: *treinamento* e *testes* (SIULY; LI; ZHANG, 2017).

Este trabalho apresenta uma análise temporal do algoritmo classificador LDA identificando o bloco ou função do algoritmo que consome um maior intervalo de tempo para realizar seu processamento, além da sua respectiva implementação em *hardware* (FPGA) afim de paralelizar os processos, otimizando o tempo de processamento.

1.2 Questão de Pesquisa

1.3 Justificativa

1.4 Objetivos

Esta seção apresenta os objetivos gerais e específicos propostos a serem desenvolvidos neste presente trabalho.

1.4.1 Objetivos Gerais

- Otimizar o algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

1.4.2 Objetivos Específicos

- Explorar o algoritmo de classificação ("A determinar") desenvolvido por (LOTTE; GUAN, 2011);

- Realizar uma análise de *profile* em cada função ou bloco do algoritmo, a fim de determinar o tempo de processamento de cada uma das funções ou de cada bloco;

- Implementar em FPGA a função ou o bloco que apresente maior tempo de processamento, a fim de paralelizar seus processos, otimizando o tempo de execução; -

2 Referencial Teórico

2.1 O Cérebro

O SNC (Sistema Nervoso Central) é o responsável direto pelo comando do nosso comportamento geral (CLARK NASHAAT BOUTROS, 2005). Ele pode ser dividido em duas principais áreas: medula espinhal e o cérebro (KANDEL, 2013). A medula espinhal, parte caudal do SNC recebe e processa todos os sinais dos sensores corporais, além de realizar o controle dos membros e do tronco humano (KANDEL, 2013). O cérebro é o processador central do SNC, nele são recebidos e processados os sinais da medula espinhal, além de fornecer todos os sinais de controle para a própria medula (KANDEL, 2013). O cérebro é dividido em 3 principais regiões: cerebrum, cerebelo e tronco encefálico (SIULY, 2012).

2.2 Eletroencefalografia

2.3 *Brain Computer Interface*

2.4 *BCI Competition*

A *BCI Competition* é uma competição que promove o desenvolvimento e melhoria da tecnologia voltada para as BCIs, onde são submetidas diferentes técnicas de análise de dados cerebrais (BLANKERTZ et al., 2006). Já foram realizadas quatro edições da competição, nos anos de 2001, 2002, 2004 e 2008 (BLANKERTZ et al., 2006). Em cada uma destas competições são fornecidos publicamente sinais cerebrais, adquiridos em laboratórios especializados (BLANKERTZ et al., 2006). Estes sinais são divididos em dois conjuntos de dados, os dados de treinamento e os dados de teste, que são utilizados para treinamento e teste dos algoritmos dos participantes (BLANKERTZ et al., 2006).

2.4.1 *BCI Competition III*

O objetivo do *BCI Competition III* é validar as metodologias de classificação e processamento de sinais cerebrais aplicados em BCIs desenvolvidas pelos participantes da competição (BCI...,). Esta edição foi realizada entre Maio e Junho de 2004, onde foram disponibilizados 8 *datasets* (I, II, IIIa, IIIb, IVa, IVb, IVc e V), desenvolvidos com a participação de 49 laboratórios especializados (BLANKERTZ et al., 2006). Para cada um dos *datasets* foram realizadas diferentes tarefas que estimulam atividades cerebrais

durante a aquisição dos sinais, configurando assim um objetivo específico para cada um dos *datasets* (BCI...).

2.4.2 BCI Competition III - Dataset IVa

O *dataset IVa* refere-se a um conjunto de dados adquiridos através da EEG, onde os sujeitos (indivíduos nos quais foram capturados os sinais) foram submetidos a estimular o cérebro por imagética motora, através de indicações visuais (BLANKERTZ et al., 2006). Os indivíduos foram submetidos a realizarem três tarefas, indicadas visualmente por 3.5s cada tarefa, sendo interrompidas em periodos aleatórios entre 1.75s e 2.25s, onde o sujeito era submetido a um periodo de relaxamento (BLANKERTZ et al., 2006). As três tarefas de imagéticas motoras foram: (L) mão esquerda, (R) mão direita e (F) pé direito (BLANKERTZ et al., 2006).

Foram adquiridos sinais de 5 sujeitos rotulados em *aa*, *al*, *av*, *aw* e *ay*, onde foram executadas no total 280 tarefas por cada sujeito, algumas previamente rotulada (dados de treinamento) em cada instante de tempo onde a tarefa foi executada, outras não rotuladas (dados de teste) (BCI...). Estes sinais foram adquiridos, tratados e disponibilizados por *Fraunhofer FIRST, Intelligent Data Analysis Group (Head: Klaus-Robert Müller), and Charité University Medicine Berlin, Campus Benjamin Franklin, Department of Neurology, Neurophysics Group* (BLANKERTZ et al., 2006). A tabela 1 apresenta a quantidade de tarefas previamente classificadas (nomeados #tr) e a quantidade de tarefas não classificadas (nomeadas #te) para cada sujeito.

Tabela 1 – Número de tarefas rotuladas e não rotuladas por sujeito (BLANKERTZ et al., 2006).

Sujeitos	#tr	#te
<i>aa</i>	168	112
<i>al</i>	224	56
<i>av</i>	84	196
<i>aw</i>	56	224
<i>ay</i>	28	252

Os dados foram adquiridos e armazenados utilizando amplificadores do tipo *BraingainAmp* e uma capa de eletrodos de 128 canais. Foram utilizados 118 canais de EEG posicionados de acordo com o sistema 10/20. Cada um destes canais foram filtrados em banda passante, utilizando um filtro *butterworth* de quinta ordem entre as frequências de 0.05 e 200 Hz, posteriormente foram digitalizados com uma frequência de amostragem de 1 kHz com precisão de 16 bits, apresentando uma resolução de 0.1 uV, além disso também foram disponibilizados os mesmos dados com uma frequência de amostragem de 100 Hz (BCI...).

2.5 Linear Discriminant Analysis

Supondo a existência de um conjunto de dados L , com características multivariadas, e que cada dado seja conhecido devido ser proveniente de uma das classes K , tal que são predefinidas com características semelhantes aos dados. As classes podem ser exemplificadas como sendo: espécies de plantas, presença ou ausência de uma condição médica específica, diferentes tipos de tumores, tipos de veículos automotores entre outros. Para separar as classes conhecidas uma das outras, é atribuído um rótulo a cada classe, então os dados são representados como dados rotulados. (livro Modern Multivariate Statistical Techniques - Alan J. Izenman)

Devido a indispensabilidade de diminuir as dimensões dos dados de um determinado conjunto, o objetivo do LDA é reduzir a dimensão do espaço de conjunto de dados, resolvendo o inconveniente da sobreposição. (A Comparison of Linear Discriminant Analysis and Ridge Classifier on Twitter Data)

2.6 System-on-Chip

System-on-Chip (SoC), implica que todo sistema que contém funcionalidades implementadas em *hardware* e *software* se encontra em um único chip de silício, combinando processamento, lógica de alta velocidade, interface, memória entre outros componentes ao invés de uma implementação maior em vários *chips* físicos diferentes agrupados em uma placa de circuito impresso. (livro zynq book)

São vários os argumentos a favor da escolha de um SoC a uma placa de circuito impresso, pode-se citar que a solução é de menor custo, viabiliza transferência de dados mais rápidas e seguras entre vários elementos do sistema, possui maior velocidade geral do sistema, menor consumo de energia entre vários outros elementos que fortalecem a escolha de um SoC em sistemas discretos com componentes equivalentes. (livro zynq book)

2.7 Estado da Arte

3 Considerações sobre os Elementos Textuais

3.1 Introdução

A regra mais rígida com respeito a Introdução é que a mesma, que é necessariamente parte integrante do texto, não deverá fazer agradecimentos a pessoas ou instituições nem comentários pessoais do autor atinentes à escolha ou à relevância do tema.

A Introdução obedece a critérios do Método Científico e a exigências didáticas. Na Introdução o leitor deve ser colocado dentro do espírito do trabalho.

Cabe mencionar que a Introdução de um trabalho pode, pelo menos em parte, ser escrita com grande vantagem uma vez concluído o trabalho (ou o Desenvolvimento e as Conclusões terem sido redigidos). Não só a pesquisa costuma modificar-se durante a execução, mas também, ao fim do trabalho, o autor tem melhor perspectiva ou visão de conjunto.

Por seu caráter didático, a Introdução deve, ao seu primeiro parágrafo, sugerir o mais claramente possível o que pretende o autor. Em seguida deve procurar situar o problema a ser examinado em relação ao desenvolvimento científico e técnico do momento. Assim sendo, sempre que pertinente, os seguintes pontos devem ser abordados:

- Contextualização ou apresentação do tema em linhas gerais de forma clara e objetiva;
- Apresentação da justificativa e/ou relevância do tema escolhido;
- Apresentação da questão ou problema de pesquisa;
- Declaração dos objetivos, gerais e específicos do trabalho;
- Apresentação resumida da metodologia, e
- Indicação de como o trabalho estará organizado.

3.2 Desenvolvimento

O Desenvolvimento (Miolo ou Corpo do Trabalho) é subdividido em seções de acordo com o planejamento do autor. As seções primárias são aquelas que resultam da primeira divisão do texto do documento, geralmente correspondendo a divisão em capítulos. Seções secundárias, terciárias, etc., são aquelas que resultam da divisão do texto de uma seção primária, secundária, terciária, etc., respectivamente.

As seções primárias são numeradas consecutivamente, seguindo a série natural de números inteiros, a partir de 1, pela ordem de sua sucessão no documento.

O Desenvolvimento é a seção mais importante do trabalho, por isso exige-se organização, objetividade e clareza. É conveniente dividi-lo em pelo menos três partes:

- Referencial teórico, que corresponde a uma análise dos trabalhos relevantes, encontrados na pesquisa bibliográfica sobre o assunto.
- Metodologia, que é a descrição de todos os passos metodológicos utilizados no trabalho. Sugere-se que se enfatize especialmente em (1) População ou Sujeitos da pesquisa, (2) Materiais e equipamentos utilizados e (3) Procedimentos de coleta de dados.
- Resultados, Discussão dos resultados e Conclusões, que é onde se apresenta os dados encontrados a análise feita pelo autor à luz do Referencial teórico e as Conclusões.

3.3 Uso de editores de texto

O uso de programas de edição eletrônica de textos é de livre escolha do autor.

Parte I

Texto e Pós Texto

4 Elementos do Texto

4.1 Corpo do Texto

O estilo de redação deve atentar a boa prática da linguagem técnica. Para a terminologia metrological usar o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (??).

Grandezas dimensionais devem ser apresentadas em unidades consistentes com o Sistema Internacional de Unidades (SI). Outras unidades podem ser usadas como unidades secundárias entre parênteses se necessário. Exceções são relacionadas a unidades não-SI usadas como identificadores comerciais como pro exemplo “disquete de 3¹/₂ polegadas”.

Na apresentação de números ao longo do texto usar vírgula para separar a parte decimal de um número. Resultados experimentais devem ser apresentados com sua respectiva incerteza de medição.

4.2 Títulos de capítulos e seções

Recomendações de formatação de seções (texto informativo: o L^AT_EX já formata as seções automaticamente, se utilizado o comando `\section{Nome da Seção}`):

1 SEÇÃO PRIMÁRIA - MAIÚSCULAS; NEGRITO; TAMANHO 12;

1.1 SEÇÃO SECUNDÁRIA – MAIÚSCULAS; NORMAL; TAMANHO 12;

1.1.1 Seção terciária - Minúsculas, com exceção da primeira letra; negrito; tamanho 12;

1.1.1.1 Seção quaternária - Minúsculas, com exceção da primeira letra; normal tamanho 12;

1.1.1.1.1 Seção quinária - Minúsculas, com exceção da primeira letra; itálico; tamanho 12.

4.3 Notas de rodapé

Notas eventualmente necessárias devem ser numeradas de forma seqüencial ao longo do texto no formato 1, 2, 3... sendo posicionadas no rodapé de cada página na qual a nota é utilizada.¹

¹ Como, por exemplo, esta nota. O L^AT_EX tomará conta da numeração automaticamente.

4.4 Equações

Equações matemáticas devem ser numeradas sequencialmente e alinhadas a esquerda com recuo de 0,6 cm. Usar numerais arábicos entre parênteses, alinhado a direita, no formato Times New Roman de 9 pts. para numerar as equações como mostrado na Eq. 4.1 (novamente, o \LaTeX formata as equações automaticamente).

Referências a equações no corpo do texto devem ser feitas como “Eq. 4.1” quando no meio de uma frase ou como “Equação 4.1” quando no início de uma sentença. Um espaçamento de 11 pontos deve ser deixado acima, abaixo e entre equações subsequentes. Para uma apresentação compacta das equações deve-se usar os símbolos e expressões matemáticos mais adequados e parênteses para evitar ambigüidades em denominadores. Os símbolos usados nas equações citados no texto devem apresentar exatamente a mesma formatação usada nas equações.

$$\frac{d\mathbf{C}}{dw} = \frac{du}{dw} \cdot \mathbf{F}_u + \frac{dv}{dw} \cdot \mathbf{F}_v \quad (4.1)$$

O significado de todos os símbolos mostrados nas equações deve ser apresentado na lista de símbolos no início do trabalho, embora, em certas circunstâncias o autor possa para maior clareza descrever o significado de certos símbolos no corpo do texto, logo após a equação.

Se uma equação aparecer no meio do parágrafo, como esta

$$x^n + y^n = z^n, \quad (4.2)$$

onde $x, y, z, n \in \mathbf{N}$, o texto subsequente faz parte do parágrafo e não deve ser indentado.

4.5 Figuras e Gráficos

As figuras devem ser centradas entre margens e identificadas por uma legenda alinhada a esquerda com recuo especial de deslocamento de 1,8 cm, com mostrado na Fig. (1). O tamanho das fontes empregadas nos rótulos e anotações usadas nas figuras deve ser compatível com o usado no corpo do texto. Rótulos e anotações devem estar em português, com todas as grandezas mostradas em unidades do SI (Sistema Internacional de unidades) (mais uma vez, o \LaTeX cuidará dos aspectos de formatação e fonte das figuras).

Todas as figuras, gráficos e fotografias devem ser numeradas e referidas no corpo do texto adotando uma numeração sequencial de identificação. As figuras e gráficos devem ser claras e com qualidade adequada para eventual reprodução posterior tanto em cores quanto em preto-e-branco.

As abscissas e ordenadas de todos os gráficos devem ser rotuladas com seus respectivos títulos em português seguida da unidade no SI que caracteriza a grandeza entre colchetes.

A referência explícita no texto à uma figura deve ser feita como “Fig. 1” quando no meio de uma frase ou como “Figura 1” quando no início da mesma. Referências implícitas a uma dada figura devem ser feitas entre parênteses como (Fig. 1). Para referências a mais de uma figura as mesmas regras devem ser aplicadas usando-se o plural adequadamente. Exemplos:

- “Após os ensaios experimentais, foram obtidos os resultados mostrados na Fig. 1, que ...”
- “A Figura 1 apresenta os resultados obtidos, onde pode-se observar que ...”
- “As Figuras 1 a 3 apresentam os resultados obtidos, ...”
- “Verificou-se uma forte dependência entre as variáveis citadas (Fig. 1), comprovando ...”

Cada figura deve ser posicionada o mais próxima possível da primeira citação feita à mesma no texto, imediatamente após o parágrafo no qual é feita tal citação, se possível, na mesma página. Em \LaTeX o comando `\label` deve suceder o comando `\caption` para que as referências às figuras fiquem com a numeração correta.

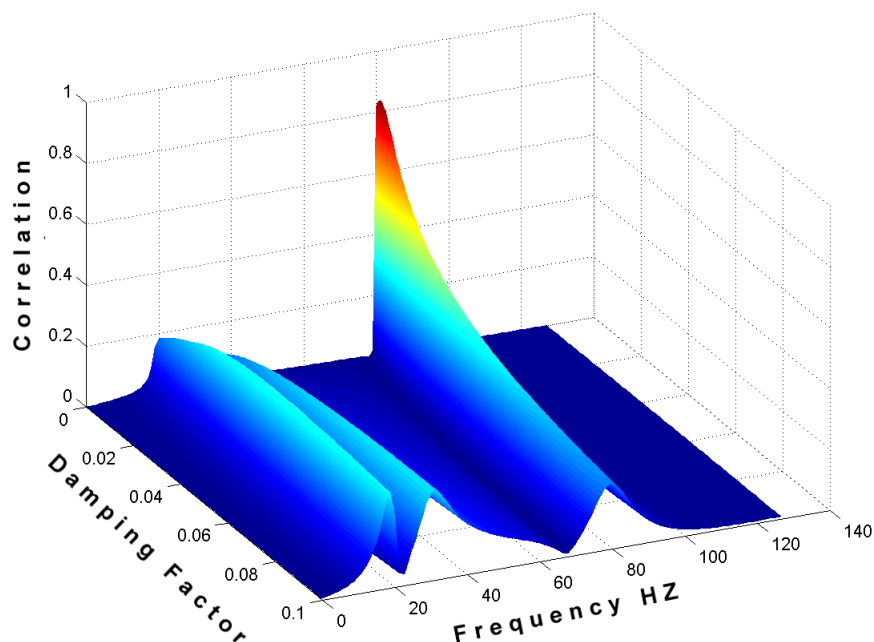


Figura 1 – Wavelets correlation coefficients

4.6 Tabela

As tabelas devem estar centradas entre margens e identificadas por uma legenda alinhada a esquerda, com recuo especial de deslocamento de 1,8 cm, posicionada acima da tabela com mostrado na Tab. 2, a título de exemplo. O tamanho das fontes empregadas nos rótulos e anotações usadas nas tabelas deve ser compatível com o usado no corpo do texto. Rótulos e anotações devem estar em português. Um espaçamento de 11 pts deve ser deixado entre a legenda e a tabela, bem como após a tabela. A numeração, a fonte e a formatação são automáticas quando se usa o L^AT_EX.

As grandezas dimensionais mostradas em cada tabela devem apresentar unidades consistentes com o SI. As unidades de cada variável devem ser mostradas apenas na primeira linha e/ou coluna da tabela, entre colchetes

A referência explícita no texto à uma dada tabela deve ser feita como “Tab. 2” quando no meio de uma frase ou como “Tabela 2” quando no início da mesma. Referências implícitas a uma dada tabela devem ser feitas entre parênteses como (Tab. 2). Para referências a mais de uma tabela as mesmas regras devem ser aplicadas usando-se o plural adequadamente. Exemplos:

- “Após os ensaios experimentais, foram obtidos os resultados mostrados na Tab. 2, que ...”
- “A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos, onde pode-se observar que ...”
- “As Tabelas 1 a 3 apresentam os resultados obtidos, ...”
- “Verificou-se uma forte dependência entre as variáveis citadas (Tab. 2), comprovando ...”

Cada tabela deve ser posicionada o mais próxima possível da primeira citação feita à mesma no texto, imediatamente após o parágrafo no qual é feita a citação, se possível, na mesma página.

Tabela 2 – Propriedades obtidas após processamento

Processing type	Property 1 (%)	Property 2 [μ m]
Process 1	40.0	22.7
Process 2	48.4	13.9
Process 3	39.0	22.5
Process 4	45.3	28.5

4.7 Citação de Referências

Referências a outros trabalhos tais como artigos, teses, relatórios, etc. devem ser feitas no corpo do texto devem estar de acordo com a norma corrente ABNT NBR 6023:2002 (ABNT, 2000), esta última baseada nas normas ISO 690:1987:

- “(??), mostraram que...”
- “Resultados disponíveis em (??), (??) e (??), mostram que...”

Para referências a trabalhos com até dois autores, deve-se citar o nome de ambos os autores, por exemplo: “(??), mostraram que...”

5 Elementos do Pós-Texto

Este capítulo apresenta instruções gerais sobre a elaboração e formatação dos elementos do pós-texto a serem apresentados em relatórios de Projeto de Graduação. São abordados aspectos relacionados a redação de referências bibliográficas, bibliografia, anexos e contra-capá.

5.1 Referências Bibliográficas

O primeiro elemento do pós-texto, inserido numa nova página, logo após o último capítulo do trabalho, consiste da lista das referências bibliográficas citadas ao longo do texto.

Cada referência na lista deve ser justificada entre margens e redigida no formato Times New Roman com 11pts. Não é necessário introduzir uma linha em branco entre referências sucessivas.

A primeira linha de cada referência deve ser alinhada à esquerda, com as demais linhas da referência deslocadas de 0,5 cm a partir da margem esquerda.

Todas as referências aparecendo na lista da seção “Referências Bibliográficas” devem estar citadas no texto. Da mesma forma o autor deve verificar que não há no corpo do texto citação a referências que por esquecimento não foram incluídas nesta seção.

As referências devem ser listadas em ordem alfabética, de acordo com o último nome do primeiro autor. Alguns exemplos de listagem de referências são apresentados no Anexo I.

Artigos que ainda não tenham sido publicados, mesmo que tenham sido submetidos para publicação, não deverão ser citados. Artigos ainda não publicados mas que já tenham sido aceitos para publicação devem ser citados como “in press”.

A norma (ABNT), que regulamenta toda a formatação a ser usada na elaboração de referências a diferentes tipos de fontes de consulta, deve ser rigidamente observada. Sugere-se a consulta do trabalho realizado por (ABNT), disponível na internet.

5.2 Anexos

As informações citadas ao longo do texto como “Anexos” devem ser apresentadas numa seção isolada ao término do trabalho, após a seção de referências bibliográficas. Os anexos devem ser numerados seqüencialmente em algarismos romanos maiúsculos (I,

II, III, ...). A primeira página dos anexos deve apresentar um índice conforme modelo apresentado no Anexo I, descrevendo cada anexo e a página inicial do mesmo.

A referência explícita no texto à um dado anexo deve ser feita como “Anexo 1”. Referências implícitas a um dado anexo devem ser feitas entre parênteses como (Anexo I). Para referências a mais de um anexo as mesmas regras devem ser aplicadas usando-se o plural adequadamente. Exemplos:

- “Os resultados detalhados dos ensaios experimentais são apresentados no Anexo IV, onde ...”
- “O Anexo I apresenta os resultados obtidos, onde pode-se observar que ...”
- “Os Anexos I a IV apresentam os resultados obtidos ...”
- “Verificou-se uma forte dependência entre as variáveis citadas (Anexo V), comprovando ...”

Referências

BCI Competition III. <http://www.bbc.de/competition/iii/desc_IVa.html>. Accessed: 2017-10-22. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

BLANKERTZ, B. et al. The bci competition iii: validating alternative approaches to actual bci problems. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 14, n. 2, p. 153–159, June 2006. ISSN 1534-4320. Citado 3 vezes nas páginas 19, 29 e 30.

BRUNELLI, R. *Template matching techniques in computer vision: theory and practice*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. Citado na página 27.

CLARK NASHAAT BOUTROS, M. M. D. *The Brain and Behavior: An Introduction to Behavioral Neuroanatomy*. 2. ed. Cambridge University Press, 2005. ISBN 0521840503,9780521840507. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=D00D7BF8931D1C6313FA52A331272806>>. Citado na página 29.

KANDEL, e. a. E. R. *Principles of Neural Science*. 5. ed. The address: Mc Graw Hill, 2013. v. 2. An optional note. ISBN 978007181001-2. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

LOTTE, F. *Study of electroencephalographic signal processing and classification techniques towards the use of brain-computer interfaces in virtual reality applications*. Tese (Doutorado) — INSA de Rennes, 2008. Citado na página 27.

LOTTE, F.; GUAN, C. Regularizing common spatial patterns to improve bci designs: Unified theory and new algorithms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 58, n. 2, p. 355–362, Feb 2011. ISSN 0018-9294. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

MASON, S. G.; BIRCH, G. E. A general framework for brain-computer interface design. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 11, n. 1, p. 70–85, March 2003. ISSN 1534-4320. Citado na página 27.

SIULY, S. *Analysis and Classification of EEG Signals*. Dissertação (Mestrado) — University of Southern Queensland, <https://www.springer.com/gp/book/9783319476520>, 7 2012. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

SIULY, S.; LI, Y.; ZHANG, Y. *EEG Signal Analysis and Classification: Techniques and Applications*. [S.l.]: Springer, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

Apêndices

APÊNDICE A – Primeiro Apêndice

Texto do primeiro apêndice.

APÊNDICE B – Segundo Apêndice

Texto do segundo apêndice.

Anexos

ANEXO A – Primeiro Anexo

Texto do primeiro anexo.

ANEXO B – Segundo Anexo

Texto do segundo anexo.