

TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Marcio Eisenkraft¹, Gustavo de Melo Valeira², Nicole A. Joseph³, Tatiana Matiussi⁴

Abstract — *The Undergraduate Final Year Project (TGI – Trabalho de Graduação Interdisciplinar) is an opportunity for undergraduate Engineering students to apply the knowledge obtained during the course in a real interesting problem for them. When this is possible, we get relevant works that effectively contribute to the learning and satisfaction of the students with their undergraduate course. In this paper, we describe two successful cases in this sense: in the first one, an Electrical Engineering student that plays bass has written a TGI on the use of computer based digital filters to simulate musical instruments; in the second one, a couple of students of the same undergraduate course interested in Biomedicine has numerically analyzed a differential equation model of the glucose-insulin interaction in the human body. The satisfactory results of both works reflect the importance of the TGI subject and daily interest of students match.*

Index Terms — *Learning, undergraduate final year project, musical instruments, Biomedicine.*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o formato e a própria necessidade dos Trabalhos de Graduação Interdisciplinar (TGI) vem sendo discutida nas grades curriculares de Engenharia. Nos cursos da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, os alunos dedicam-se durante os três últimos semestres à preparação do TGI que consiste em uma monografia apresentada a uma banca constituída de três professores do curso.

Têm-se notado trabalhos de qualidade variada, desde aqueles que geram publicações em nível nacional e internacional àqueles em que o aluno termina por apresentar simplesmente um apanhado de conhecimentos desconexos e claramente há pouco aprendizado com sua realização diante do esforço despendido pelo corpo docente.

Neste artigo, busca-se mostrar que, quando o assunto do TGI vai de encontro a interesses cotidianos do aluno, os resultados tendem a ser melhores tanto do ponto de vista da produção deste em si quanto em termos da satis-

fação atingida pelos docentes. Para tanto, são apresentados dois casos:

- **Caso I:** o aluno Gustavo de Melo Valeira é baixista e tem grande interesse em música. Propôs-se como seu TGI uma modelagem de instrumentos musicais utilizando filtros digitais [1];
- **Caso II:** as alunas Nicole A. Joseph e Tatiana Matiussi, durante a graduação, tiveram a atenção despertada por matérias que tratavam de aplicações da Engenharia Elétrica em Medicina. Assim, propôs-se como tema o estudo da interação glicose-insulina no corpo humano [2].

Este artigo é dividido da seguinte forma: a Seção 2 descreve e comenta os resultados obtidos no TGI do Caso I; da mesma forma, a Seção 3 trata do Caso II; finalmente, as principais conclusões deste trabalho são resumidas na Seção 4.

2 CASO I: MODELAGEM DE INSTRUMENTOS MUSICAIS

Neste TGI, de autoria do aluno Gustavo de Melo Valeira, foi realizada a simulação de instrumentos musicais utilizando filtros digitais. O objetivo deste trabalho foi modelar digitalmente um violão e um baixo. A modelagem do violão foi feita utilizando gravações fornecidas em [3] e a do baixo com gravações realizadas pelo discente. Em ambas as simulações foram usadas funções de [3] utilizando-se o programa de simulação numérica Matlab[®] [4].

Sintetizadores simulam vários instrumentos musicais, como baixo, guitarra e violão. Para isso, usam filtros que criam uma determinada nota dependendo do instrumento selecionado pelo usuário [3]. Notas são os sons produzidos por instrumentos musicais e recebem nomes de acordo com sua frequência fundamental. As sete notas principais são: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si.

Os filtros digitais seletivos em frequência têm a mesma função que o corpo de um instrumento musical de corda ao receber um som: deixar passar determinadas

1 Marcio Eisenkraft, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Rua da Consolação, 930, CEP: 01302-907-Consolação, São Paulo, SP, Brasil, marcioft@mackenzie.br.

2 Gustavo de Melo Valeira, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Rua da Consolação, 930, CEP: 01302-907-Consolação, São Paulo, SP, Brasil, gusval@mackenzie.br.

3 Nicole A. Joseph, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Rua da Consolação, 930, CEP: 01302-907-Consolação, São Paulo, SP, Brasil, nicolejoseph16@hotmail.com.

4 Tatiana Matiussi, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Rua da Consolação, 930, CEP: 01302-907-Consolação, São Paulo, SP, Brasil, tati_matiussi@hotmail.com.

faixas de frequência e remover outras [5]. Um filtro e uma entrada adequada podem gerar conjuntamente um sinal semelhante ao produzido pelo violão e o baixo.

2.1 Simulação do violão

A resposta impulsiva do corpo do violão foi fornecida em [3] e por meio da Transformada Rápida de Fourier [5] obteve-se a resposta em frequência $H_{cv}(f)$ do violão, conforme a Figura 1(a).

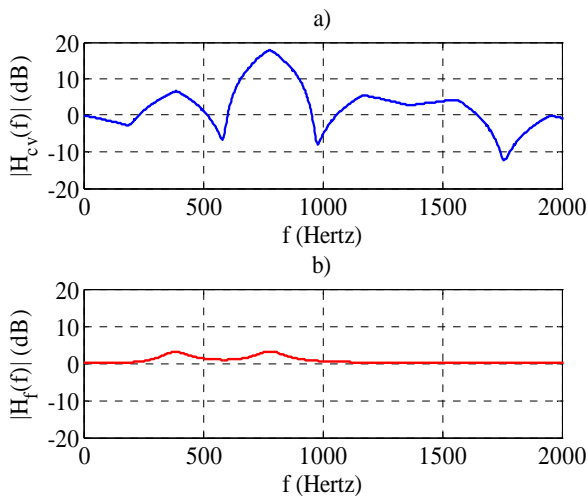


FIGURA 1

RESPOSTA EM FREQUÊNCIA: A) DO CORPO DO VIOLÃO; B) FILTRO PROJETADO.

A partir desta resposta em frequência, projetou-se um filtro $H_f(f)$ usando o método descrito em [3]. Ele é composto por dois filtros digitais de 2ª ordem em cascata e sua resposta em frequência é mostrada na Figura 1(b).

A corda ao ser acionada produz uma frequência fundamental e outras harmônicas, que são frequências múltiplas da fundamental. A excitação gerada pela vibração da corda no corpo do instrumento foi simulada por um sinal dente de serra com frequência igual à fundamental da nota. A amplitude da n -ésima harmônica no espectro deste sinal é proporcional a $1/n$ [5]. O sinal dente de serra foi escolhido porque mostrou ser uma boa solução experimentalmente.

O dente de serra filtrado foi comparado com a nota Sol gerada pelo violão, analisando-se o espectro em frequência de ambos os sinais. Na Figura 2(a) é apresentado o espectro em frequência $H_y(f)$ do dente de serra filtrado e na Figura 2(b) o espectro $H_{vsol}(f)$ da nota Sol gerada pelo violão. O espectro em frequência do dente de serra filtrado é igual ao da nota Sol gerada pelo violão

somente na 1ª harmônica. Porém, acusticamente, os sons produzidos são semelhantes.

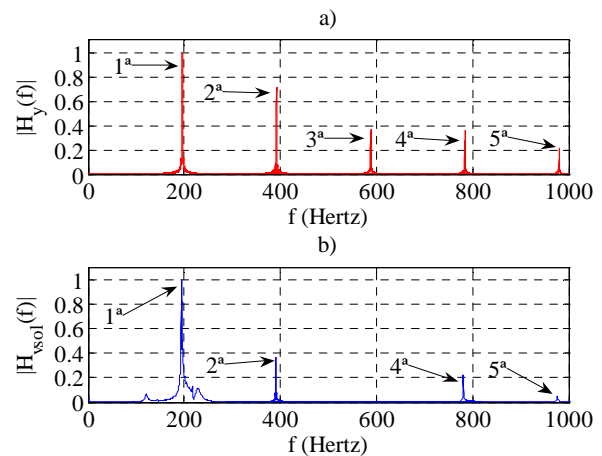


FIGURA 2

ESPECTRO EM FREQUÊNCIA COM A INDICAÇÃO DAS HARMÔNICAS: A) DENTE DE SERRA FILTRADO; B) NOTA SOL GERADA PELO VIOLÃO.

2.2 Simulação do baixo

Uma estimativa da resposta impulsiva do corpo do baixo ao se acionar a corda Si foi obtida acionando-se rapidamente a corda Si de um baixo Washburn® XB-125, de forma a simular um impulso. O sinal obtido, $h_{si}(t)$, é mostrado na Figura 3.

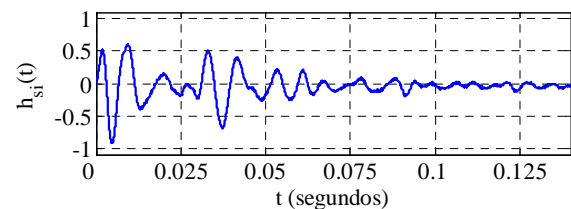


FIGURA 3

RESPOSTA AO IMPULSO DA CORDA SI DO BAIXO.

A resposta em frequência $H_{si}(f)$ do corpo do baixo ao acionar a corda Si foi obtida usando a Transformada de Fourier Rápida [5]. Na Figura 4 é mostrado o módulo dessa resposta.

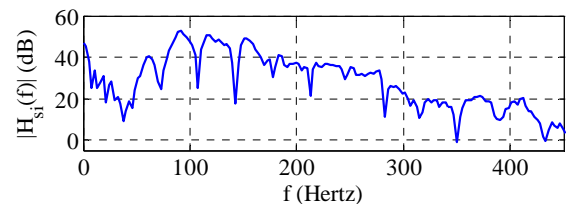


FIGURA 4

MÓDULO DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA CORDA SI DO BAIXO.

Com base nessa resposta em frequência foram criados e testados vários filtros. Dentre estes, o de resposta em frequência da Figura 5 é o que selecionou melhor as faixas de frequência mais relevantes das notas que a corda Si produz. O filtro projetado $H_{Fsi}(f)$ é composto por sete filtros de 2ª ordem em cascata, sendo dois vales anti-ressonantes e cinco picos ressonantes.

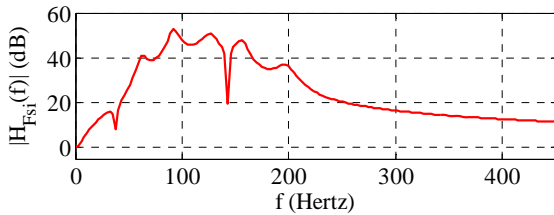


FIGURA 5
MÓDULO DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO FILTRO PROJETADO.

Na Figura 6(a) e 6(b) são apresentados, respectivamente, o módulo do espectro em frequência $Y_{si}(f)$ da nota Si gerada pelo baixo e $Y_{Filtro}(f)$ do sinal filtrado.

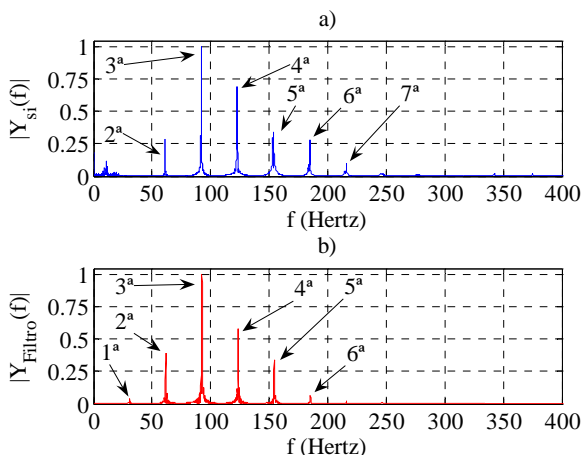


FIGURA 6
ESPECTRO EM FREQUÊNCIA COM A INDICAÇÃO DAS HARMÔNICAS: A) NOTA SI GERADA PELO BAIXO; B) DENTE DE SERRA FILTRADO.

As duas maiores amplitudes de ambos os espectros normalizados estão em torno da 3ª harmônica. O corpo do baixo atenuou muito a frequência fundamental da nota Si, o que também aconteceu na filtragem do sinal dente de serra. Entre a 2ª e 5ª harmônicas as amplitudes são semelhantes em ambos os espectros $Y_{si}(f)$ e $Y_{Filtro}(f)$, porém a 6ª harmônica apresenta uma diferença maior. A partir da 7ª harmônica as amplitudes são praticamente desprezíveis em ambos os espectros.

Ouvindo-se os dois sinais, nota-se que eles são parecidos, porém existe uma diferença entre eles. Esta é causada pelo decaimento natural, ou seja, o sinal gerado pelo

baixo diminui de intensidade com o tempo, enquanto que no sinal filtrado isso não ocorre.

2.3 Conclusões sobre o Caso I

Os resultados apresentados nas Figuras 2 e 6 mostraram que um filtro digital pode modelar adequadamente o corpo de um violão e de um baixo, respectivamente.

Os resultados obtidos no TGI geraram um artigo de iniciação científica [6] apresentado pelo aluno na forma de pôster no XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, o mais importante simpósio nacional na área.

Além disso, o aluno tem intenção de prosseguir com seus estudos em nível de mestrado.

Considera-se assim que, neste caso, o TGI conseguiu cumprir de forma satisfatória os seus objetivos de iniciar a pesquisa científica e fazer com que o discente aplique os conhecimentos obtidos ao longo da graduação em problemas da vida cotidiana e de seu interesse.

3. CASO II: MODELAGEM DA ITERAÇÃO GLICOSE-INSULINA

Neste TGI, as alunas Nicole A. Joseph e Tatiana Matiussi realizaram um estudo sobre a modelagem e a análise da reação do pâncreas humano diante da presença ou da falta do açúcar na corrente sanguínea. Diversos trabalhos apresentam modelos deste comportamento por meio de sistemas dinâmicos [7], [8], [9].

No TGI apresentaram-se métodos de solução numérica como o de Euler, de Euler aprimorado e o de Runge-Kutta [10]. A partir do estudo de cada caso, o método de Runge-Kutta foi escolhido para a simulação do problema em discussão.

3.1 Simulações

Analisaram-se simulações computacionais de um modelo de sistema de equações diferenciais lineares que representa o controle da concentração de glicose no sangue pela insulina em um adulto. O modelo supõe que o paciente recebe injeções de insulina no tempo apropriado a fim manter o nível da glicose no sangue entre 80 e 90 mg/dl [11]. Ele é representado pelo seguinte conjunto de equações diferenciais [7], [9]:

$$\begin{cases} \frac{dg}{dt} = -ag - bh \\ \frac{dh}{dt} = cg - dh \end{cases}, \quad (1)$$

em que g e h são as concentração de glicose e insulina, respectivamente, medidas em relação ao valor normal. Os parâmetros a , b , c e d definem a condição de saúde do paciente [7], [9].

A Figura 7 mostra o diagrama de blocos que implementa o Sistema de Equações (1) na caixa de ferramenta Simulink® [12] do Matlab®.

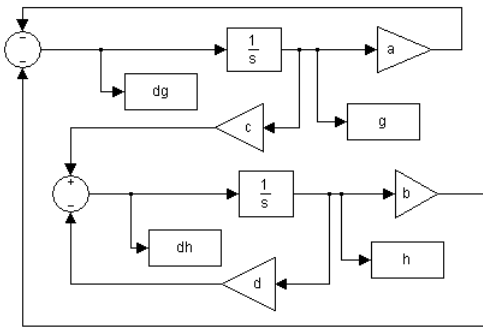


FIGURA 7

DIAGRAMA DE BLOCOS DO SIMULINK® QUE IMPLEMENTA O SISTEMA DE EQUAÇÕES (1).

A partir deste modelo, foram analisadas as diversas situações que podem acontecer no organismo de um indivíduo. Para melhor entendimento de cada caso, o sistema de equações foi resolvido e classificado quanto à sua estabilidade e à topologia. As equações foram resolvidas considerando-se como condição inicial $g(0) = 1$ e $h(0) = 0$.

Para testar a resposta do sistema fisiológico que regula as concentrações de glicose e de insulina, injeta-se uma quantidade g_0 de glicose no sangue do paciente que deve estar em jejum. Retira-se periodicamente, amostras de sangue e mede-se a concentração de glicose.

Os parâmetros utilizados para indivíduos normais, hiperglicêmicos ou hipoglicêmicos são mostrados na Tabela I [7], [9].

TABELA I
PARÂMETROS UTILIZADOS EM (1)

Estado	a	b	c	d
Normal	2,92	4,84	0,21	0,78
Hiperglicemia	-1,46	-2,17	0,10	-0,39
Hipoglicemia	-5,84	-8,68	0,42	-1,56

Os resultados das simulações são mostrados na Figura 8.

Nota-se, pelos gráficos da Figura 8, que no momento em que a insulina é produzida ocorre uma queda na taxa de glicose. Em um indivíduo com hiperglicemia, o nível de glicose demora mais para cair em relação a um indivíduo normal. A queda do nível de insulina também é mais

lenta. Em um indivíduo com hipoglicemia, no momento em que a insulina é produzida, o nível da glicose diminui rapidamente se comparado com o indivíduo normal.

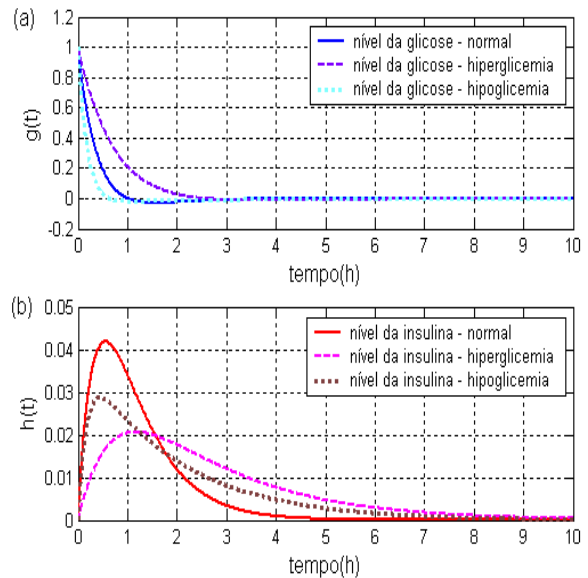


FIGURA 8

SOLUÇÕES DE (1) UTILIZANDO-SE OS PARÂMETROS DA TABELA I: (A) NÍVEL DE GLICOSE; (B) NÍVEL DE INSULINA.

3.2 Conclusões sobre o Caso II

Apesar de simples, os resultados apresentados neste TGI, foram satisfatórios do ponto de vista das alunas. Conseguiu-se ilustrar como as ferramentas matemáticas lecionadas no curso de Engenharia Elétrica podem ser úteis na modelagem de problemas de interesse prático das discentes. Ambas tem intenção de continuar a pesquisar assuntos correlatos em nível de mestrado.

4 CONCLUSÕES

O formato e a importância dos TGIs nos cursos de Engenharia têm sido questionados nos últimos anos. Os dois casos discutidos apresentam como ponto comum a busca de levar assuntos relevantes do currículo do curso de Engenharia Elétrica para aplicações de interesse dos alunos. Desta forma, conseguiu-se atrair a atenção deles para a pesquisa na área. Este fato é comprovado pela satisfação dos alunos com os trabalhos realizados e pelo interesse demonstrado em prosseguir nos estudos em nível de mestrado.

Desta forma, considera-se que os TGIs, desde que visando integrar pesquisa com interesse prático, podem sim contribuir positivamente para a formação profissional e acadêmica dos discentes de Engenharia.

REFERÊNCIAS

- [1] Valeira, G. M. “Modelagem e simulação de instrumentos musicais utilizando filtros digitais”. 2007. *Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)* – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.
- [2] Joseph, N. A.; Matiussi, T. “Simulação da iteração glicose-insulina no corpo humano”. 2007. *Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)* – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.
- [3] Stonick, V.; Bradley, K., *Labs for signals and systems using Matlab®*, PWS BookWare Companion Series, 1996.
- [4] Chapman, S. J. *Programação em Matlab® para engenheiros*, Thomson, 2003.
- [5] Oppenheim, A., V.; Schafer, R. W.; Buck, J. R., *Discrete-time signal processing*, Prentice Hall, 1999.
- [6] Valeira, G. M.; Eisenkraft, M. “Modelagem e simulação de instrumentos musicais utilizando filtros digitais”. In: XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT'07), 2007, Recife. *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT'07)*. Sociedade Brasileira de Telecomunicações, 2007. v. 1. p. 1-2.
- [7] Monteiro, L. H. A. *Sistemas dinâmicos*, Livraria da Física, 2006.
- [8] Strogatz, S. H. *Nonlinear dynamics and chaos with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*, Addison Wesley, 1994.
- [9] Bolie, V. W. “Coefficients of normal blood glucose regulation”, *J. Appl. Physiol.*, v. 16, 1961, p. 783-788.
- [10] Boyce, W. E.; DiPrima, R. C. *Elementary differential equations and boundary value problems*, Wiley, 2004.
- [11] Bruce, E. N. *Biomedical signal processing and signal modeling*, John Wiley & Sons, 2001.
- [12] Matsumoto, É. Y., *Simulink 5, Érica*, 2003.