

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO VISUAL PARA ANÁLISE DE SINAIS

**Sílvia Mara da Costa Campos Victer** – silviavicter@iprj.uerj.br

**William Maurat da Conceição** - william.maurat@gmail.com

Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, RJ, Brasil

**Resumo.** Este trabalho trata de um estudo preliminar de uma aplicação visual para análise de sinais contínuos no domínio do tempo e verificação das frequências existentes no sinal, através da transformada de Fourier. Também é possível identificar as componentes do sinal no domínio conjunto tempo-frequência simultaneamente, mediante uma transformada de Fourier de curta duração. O usuário interage com o sistema através de uma interface amigável, de conteúdo gráfico. A ferramenta desenvolvida tem a capacidade de expansão para novas funcionalidades. A linguagem Python foi utilizada para a implementação do sistema.

**Palavras-chave:** Sinais, Transformada de Fourier, Python, Interface gráfica.

### 1. INTRODUÇÃO

Na área de processamento de sinais, é comum ter a necessidade de se analisar sinais de diversas naturezas e extrair informações que sejam relevantes de acordo com a aplicação em estudo. A transformada de Fourier informa o conteúdo em frequência de um dado sinal. Para muitas aplicações ela é interessante, pois identifica todas as componentes de frequências existentes no sinal.

Muitas das vezes faz-se necessário também a verificação da informação local aliada a informação em frequência para se analisar as duas informações simultaneamente, possibilitando um melhor entendimento da informação que se deseja obter.

As transformadas tempo-frequência introduzem uma medida de localidade na análise do sinal, e muitas das vezes são uma alternativa à transformada de Fourier. A ideia básica é a de se obter a transformada de Fourier sob janelas locais e analisar as porções distintas do sinal separadamente.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma ferramenta gráfica interativa, onde o usuário fornece o sinal que deseja trabalhar e, a partir dele, obtém os seguintes gráficos: comportamento do sinal no domínio do tempo, verificação das frequências existentes no sinal

pela transformada de Fourier e, através de uma transformada tempo-frequência, denominada transformada de Gabor, as frequências e os seus instantes associados. Foi feito um estudo preliminar de uma plataforma para auxiliar a visualização de sinais, como resultado de um trabalho de iniciação científica de um ano de duração.

A motivação do tema do artigo é fortalecer o entendimento do comportamento de sinais, e incentivar o desenvolvimento de ferramentas gráficas que possam promover, de forma prática, os conhecimentos adquiridos em salas de aula.

Inicialmente, será apresentada uma breve introdução sobre análise de sinais e das transformadas de Fourier e de Gabor, seguida por uma descrição da interface gráfica usada através da linguagem de programação Python. Logo após, como resultados do estudo, são apresentadas as telas da aplicação relacionadas a cada funcionalidade. A seguir, são destacados alguns trabalhos relacionados e, por fim, as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. ANÁLISE DE SINAIS

Um sinal representa alguma informação. Os sistemas produzem sinais de saída em resposta a sinais de entrada. Os sinais podem ser de natureza elétrica, mecânica ou de outras formas, mas eles geralmente são convertidos à forma elétrica para processamento. Os sinais podem ser representados em termos de fórmulas matemáticas (Sundararajan, 2008).

Os sinais podem ser classificados em diferentes tipos; a representação e processamento de um sinal depende do seu tipo. Eles podem ser: contínuos, discretos ou digitais. Um sinal contínuo é especificado em todos os valores de sua variável independente, por exemplo, a temperatura de um ambiente. Para a representação no domínio do tempo, a variável independente considerada será a variável de tempo  $t$ , e o sinal descrito por  $x(t)$ . Os sinais de tempo contínuos surgem naturalmente quando uma onda física, como por exemplo, uma onda acústica é convertida em um sinal elétrico, como ocorre no microfone (Haykin, 2001).

Um sinal é dito discreto se ele é especificado apenas em valores discretos de sua variável independente. Um sinal  $x(t)$  é representado apenas em  $t = nTs$  como  $x(nTs)$ , onde  $Ts$  representa o intervalo de amostragem e  $n$  um inteiro. A maior parte dos sinais reais são contínuos, assim, o sinal discreto geralmente é obtido através da amostragem do sinal contínuo a uma taxa uniforme.

Quando os valores da amostra de um sinal discreto são quantizados, ele se torna um sinal digital – ambas as variáveis (dependentes e independentes) de um sinal digital estão na forma discreta (Sundararajan, 2008).

A aplicação deste estudo contempla apenas sinais contínuos. Exemplos de dois sinais elementares muito comuns são os sinais exponenciais (reais ou complexos) e os sinais senoidais. Um sinal exponencial real, em sua forma mais geral, é escrito como:  $x(t) = Be^{at}$ , para valores reais de  $a$  e  $B$ . O parâmetro  $B$  é a amplitude do sinal exponencial medido no instante  $t = 0$ . Se o parâmetro  $a$  for positivo, tem-se uma exponencial crescente, e para valores negativos de  $a$ , tem-se uma exponencial decrescente (Haykin, 2001).

As exponenciais complexas são representadas por  $e^{j\theta}$ , e através da identidade de Leonhard Euler (1748), este termo pode ser expandido como:  $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo de fase em radianos. Um sinal senoidal de tempo contínuo pode ser escrito como  $x(t) = A \cos(\omega t + \theta)$ , em que:  $A$  é amplitude e  $\omega$  é a frequência em radianos por segundo. (Haykin, 2001; Pollock, 1999).

A transformada de Fourier informa o conteúdo em frequência de um dado sinal, obtido globalmente, pela soma das contribuições coletadas ao longo de toda a extensão do sinal (Sá, 2016; Victor, 2012). Dada uma função da posição,  $x(t)$ , a transformada de Fourier  $\tilde{x}(f)$  retorna uma função apenas da frequência  $f$ :

$$\tilde{x}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

As transformadas tempo-frequência, também chamadas de Transformadas de Fourier de curta duração STFT (*Short Time Fourier Transform*), surgiram como uma alternativa à transformada de Fourier, introduzindo uma medida de localidade na análise do sinal. A ideia básica é a de obter a transformada de Fourier sob janelas locais, para que posições distintas do sinal sejam analisadas separadamente (Gröchenig, 2001; Allen, 2004).

Um caso particular da STFT é a transformada de Gabor, em que a janela é uma gaussiana (Cohen, 1994). Para um sinal de entrada “ $x(\tau)$ ”, a sua expressão geral é dada pela equação:

$$G(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i2\pi f\tau} e^{-\frac{(\tau-t)^2}{2\sigma^2}} x(\tau) d\tau \quad (2)$$

Na Eq (2), “ $\sigma$ ” é largura da janela, “ $t$ ” o tempo, e “ $f$ ” a frequência. O termo “ $\tau - t$ ” garante que a janela fique centrada em cada instante “ $t$ ”, como se deslizasse ao longo do sinal. Isto permite o emprego da transformada de Fourier na análise de diferentes posições do sinal sucessivamente (Victor, 2012).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção do programa foi utilizada a linguagem Python, por fornecer funcionalidades pertinentes a qualquer linguagem de programação, seja ela interpretada ou compilada. Por exemplo: prototipação de sistemas, automatização de tarefas repetitivas como manipulação de texto, cópia de arquivos e outras. Também é possível criar programas que funcionam no modo texto, tanto interativos como servidores. Há a possibilidade de fazer programas em modo gráfico usando a interface nativa do seu sistema de forma simples, ou então utilizando Tk, GTK, Qt, wxWidgets e outras (Lutz, 2013).

A construção da parte gráfica foi feita com a biblioteca tkinter, que é uma biblioteca da linguagem Python que acompanha a instalação padrão e permite desenvolver interfaces gráficas. Um dos motivos da opção pelo Tkinter é a sua facilidade de uso e recursos disponíveis, além da necessidade de uma interfácil pequena, simples e rápida para o programa.

A parte matemática, usada para o cálculo das transformadas, foi feita com o uso da biblioteca Scipy, que é um pacote básico da linguagem Python e que implementa diversas técnicas úteis na computação científica; utiliza como base a biblioteca NumPy, para lidar eficientemente com grandes quantidades de números, e implementa, em linguagem C, diversos algoritmos numéricos e simbólicos para o processamento matemático (Python1, 2018).

A parte de exibição dos gráficos foi feita com a biblioteca matplotlib, uma biblioteca Python de plotagem 2d, que auxilia a biblioteca matemática NumPy. Pode ser usada em *scripts* Python, no *shell* Python e IPython, em servidores de aplicação Web e outras ferramentas de interface gráfica. Além disso, as funcionalidades da matplotlib podem ser expandidas por outras ferramentas, tais como matplotlib2tikz, Mplot3d, Natgrid, Cartopy, caso seja necessário futuramente.

A implementação contempla uma aplicação básica para geração de sinais elementares, como: seno, cosseno, tangente e exponencial, representados na variável  $x$  por  $\sin(x)$ ,  $\cos(x)$ ,  $tg(x)$  e  $exp(x)$ , respectivamente. Além disso, também é capaz de mostrar qualquer

senal em um intervalo especificado pelo usuário (obviamente respeitando a sintaxe do Python para a digitação do sinal).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras a seguir apresentam a interface gráfica implementada em Python. Na Figura 1, tem-se a interface da janela principal inicial em que o usuário entra com a função, os intervalos de  $x$  e  $y$ , e três botões para selecionar o gráfico desejado: o gráfico da função, o gráfico da Transformada de Fourier e o gráfico da Transformada de Gabor.

O sinal considerado na Eq. 3 consiste na combinação de uma senóide de frequência 1000 Hz e um pacote de onda de Gabor, representado por um cosseno na frequência  $2500/2 = 1250$  Hz, centrado no instante 300 segundos, e modulado por uma exponencial complexa, nos intervalos em  $X$ , de 0 a 2000 e intervalos em  $Y$ , de -2 a 2.

$$x(t) = \sin(2 * \pi * 1000 * x) + \exp\left(-\pi * (x - 300) ** \frac{2}{100000}\right) (\pi * 2500 * (x - 300)) \quad (3)$$

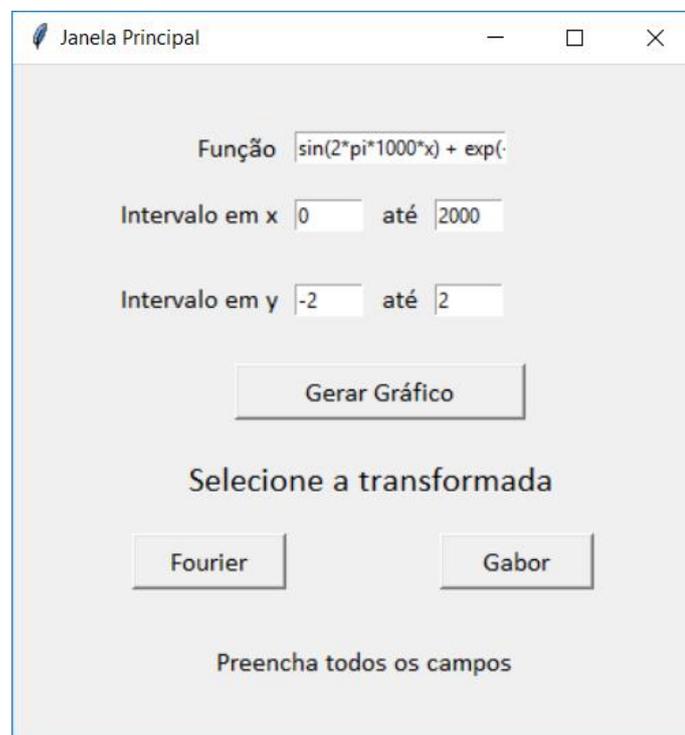


Figura 1 – Sinal de Teste (Eq.3)

Ao selecionar o botão 'Gerar Gráfico', abrirá uma tela para exibir o gráfico da função, como na Figura 2. O eixo horizontal representa o número de amostras do sinal (em segundos) e o eixo vertical, a amplitude. Observa-se a componente senoidal em todo o instante, e uma modulação, em torno da amostra em 300 segundos, de maior amplitude. Obviamente, nesta representação não é possível saber, apenas pela visualização gráfica, quais são as frequências presentes no sinal, e sim a forma de onda do sinal.

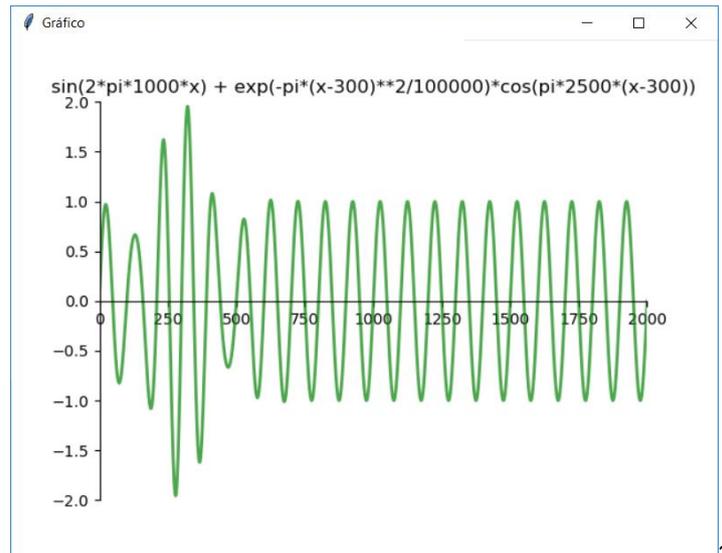


Figura 2 – Gráfico da Função (Eq. 3)

O gráfico da Figura 3 refere-se à Transformada de Fourier dessa mesma função (Eq. 1). O intervalo inicial em X é definido previamente como 0, e o intervalo final é definido pelo usuário como 2000, para este sinal. O limite superior em X e o limites inferior e superior em Y variam de acordo com a entrada do usuário. O eixo horizontal é a frequência (em Hz) e o eixo vertical é a amplitude.

Como pode se observar na Fig. 3, há uma frequência de maior amplitude em 1000Hz que corresponde ao sinal senoidal e uma frequência de menor amplitude de 1250Hz, relacionada ao pacote de onda de Gabor. Este gráfico exibe as frequências corretamente, mas não descreve a localização temporal. Como sabemos pela representação do sinal, a frequência de 1250Hz não ocorre em toda a duração da amostra, e sim, em uma localização específica em torno da amostra em 300 seg., o que não é possível ser mostrado pela Transformada de Fourier, pois a mesma não descreve a localização temporal do sinal relacionado à cada frequência específica.

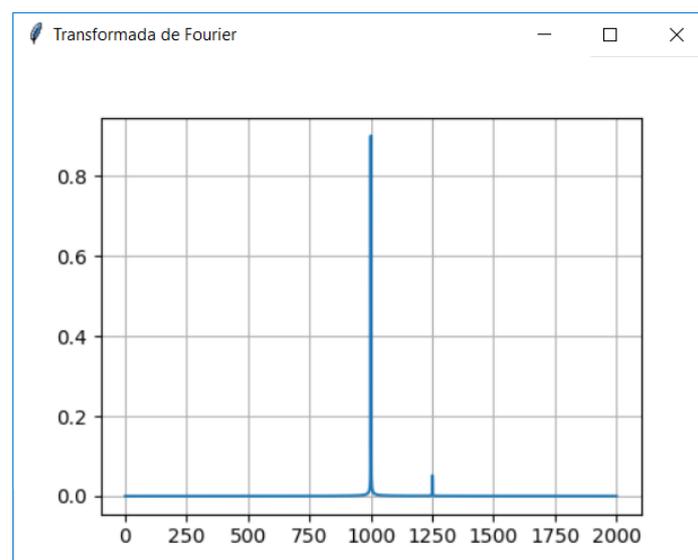


Figura 3 - Transformada de Fourier do sinal.

A Transformada de Gabor (Eq. 2) dessa mesma função é verificada na Figura 4. O eixo horizontal representa o tempo em segundos, e o eixo vertical indica a frequência (em Hz). Este gráfico exibe a localização de cada faixa de frequência em instantes associados, apresentando a resolução tempo-frequência. Observa-se a frequência de 1000 Hz em todo o instante, conforme o esperado, e a frequência localizada de 1250 Hz centrada no instante de 300 segundos. O limite em X (segundos), fixo de 0 a 1000, e o limite em Y (Hz), Fixo de 0 a 5000, podem ser alterados somente pelo código.

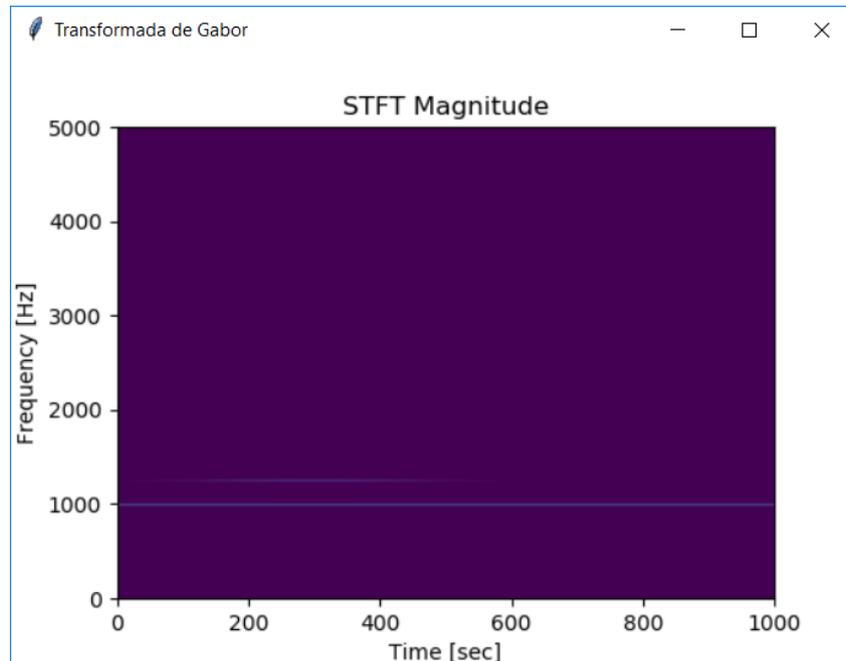


Figura 4 - Transformada de Gabor do sinal da Eq.3.

## 5. TRABALHOS RELACIONADOS

Em (Turchiello, 2014), tem-se uma plataforma computacional de processamento digital de sinais para uso em ensino e pesquisa em sinais biomédicos, desenvolvida em Java. Em (Miranda, 2011), é mostrado um conjunto de interfaces gráficas de simulação de sinais. Em (Guedes, 2016), tem-se um documento de teor didático para aprimorar o ensino de processamento digital de sinais.

Não é possível fazer uma comparação direta do presente artigo com os documentos mencionados. Devido ao curto tempo para a sua execução, optou-se por desenvolver uma ferramenta mais simples, mas coerente com o propósito de facilitar o entendimento do comportamento de qualquer sinal contínuo. Contudo, eles servem como estímulo para a expansão deste em novas funcionalidades.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo inicial sobre o desenvolvimento de um aplicativo visual, amigável, em que o usuário tem a oportunidade de verificar os sinais e as transformadas de interesse, possibilitando a visualização gráfica da informação desejada de

forma instantânea, sem a necessidade de conhecimento de programação. É um estudo preliminar de um ano de pesquisa de iniciação científica, e teve como principal finalidade, mostrar que é possível desenvolver uma aplicação simples e escalável, que possa ser útil para consolidar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas que tratam de sinais. Não foi usado nenhum trabalho como referência para desenvolver as interfaces gráficas, pois a intenção era deixar o aluno com autonomia de criar as suas próprias interfaces de acordo com o conhecimento assimilado.

Esta aplicação facilita o entendimento de diversas funcionalidades, e também é uma forma de estimular outros alunos, pesquisadores e professores a usarem os conceitos de processamento de sinais, e de se interessarem em desenvolver pesquisas na área, sem nenhum custo adicional.

Há várias aplicações que podem ser beneficiadas com este sistema, através da análise gráfica e da exploração de conceitos que até então são vistos na teoria, mas que poderão ser melhor entendidos na prática.

Como possíveis trabalhos futuros, pretende-se continuar o desenvolvimento da aplicação com outras funcionalidades, tais como: incluir outras transformadas tempo-frequência, e a possibilidade de selecionar um arquivo de dados, bem como introduzir informações teóricas do que está sendo visualizado. Pretende-se que esta ferramenta seja um suporte ao entendimento de algumas disciplinas associadas à visualização gráfica de sinais. Desta forma, a aplicação pode se tornar uma ferramenta útil para analisar diversos sinais, tais como: sinais de potência, sinais de eletrocardiograma ou eletroencefalograma, sinais de som, reconhecimento de voz, etc.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, processo nº E-26/201.189/2017).

### **REFERÊNCIAS**

- Allen, R. L., Mills, D.W. (2004), “Signal Analysis”, Wiley-Interscience, 2004.
- Cohen, L. (1995), “Time- Frequency Analysis”, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River.
- Guedes, D. L., Góes, D. B. R., Silva, O.F. (2016), “Desenvolvimento de interface gráfica em Matlab para aprimorar o processo de ensino na disciplina de processamento digital de sinais”. XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE, UFRN/ABENGE.
- Gröchenig, K. (2001), “Foundations of Time-Frequency Analysis”, Birkhäuser.
- Haykin, S., Veen, B. V. (2001), “Sinais e Sistemas”, Bookman.
- Lutz, M. (2013) “*Learning Python, 5th Edition*”. O'Reilly Media.
- Miranda, D. S., Lopes, E. M. (2012). “Implementação de uma ferramenta computacional gráfica para simulação de sinais”. Congresso de Iniciação científica do Inatel – Incitel.
- Pollock, DSG (1999). A Handbook of Time-series Analysis, Signal Processing and Dynamics. Academic Press.
- Python1,(2018). Mathematical Functions. The Python Software Foundation. Disponível em: <https://docs.python.org/2/library/math.html>. Acesso em 16 de agosto 2018.
- Sá, L. O.; Kappel, M. A. A.; Vicker, S. M. C. C.; Bastos, I. N. (2016), “Estudo comparativo da aplicação das transformadas stft e vstft a um sinal não-estacionário sintético”, XIX ENMC e VII ECTM, João Pessoa, 19 a 21 de outubro de 2016.
- Sundararajan, D. (2008), “A Practical Approach to Signals and Systems” John Wiley & Sons.
- Turchielo, G. M. (2014), “Plataforma Visual de Processamento Digital de Sinais Biomédicos”, 82 f, Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina.

Victor, S. M. C. C. (2012), “Funções de Gabor sintonizadas: Aplicação à análise e à síntese de sinais”, 132 f, Tese (Doutorado em Computação) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

## **DEVELOPMENT OF A VISUAL APPLICATION FOR SIGNAL ANALYSIS**

**Abstract.** *This is a preliminary work about a visual application for a time domain continuous signal analysis and a signal frequency inspection, through Fourier Transform. It also provides the possibility for identifying signal components in a conjoint time-frequency domain simultaneously, by means of a Short Time Fourier Transform. The user interacts with the system through a friendly graphical interface. This developed tool presents the expandability to new functionalities. The Python programming language was the one used for implementing the system.*

**Keywords:** *Signals, Fourier Transform, Python, Graphical interface.*