

IDENTIFICAÇÃO DE EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO VIA TÉCNICA DE MAPEAMENTO TEMPO-FREQUÊNCIA

Francine de Almeida Kalas¹; Fernando Luis Dias²; Vera Lúcia D. Ferreira³

Resumo

O conhecimento do comportamento do clima em uma dada região é de grande importância para a humanidade. As alterações climáticas afetam as condições básicas de sobrevivência do ser humano. Tem se observado o crescente interesse mundial no incentivo a pesquisas de cunho interdisciplinar voltadas para o monitoramento climático. O presente estudo tem por finalidade identificar eventos atmosféricos com periodicidade e intermitência ocorridos na cidade de Nova Friburgo no ano de 2011, período em que ocorreu a maior tragédia ambiental do Brasil, valendo-se da análise da precipitação atmosférica. Foi utilizada uma técnica de análise tempo- frequência utilizando a transformada de Fourier com janela variável, aplicada para processar os sinais não estacionários. Os resultados gerados com esse esquema evidenciam a localização das componentes de frequência no tempo, indicando esse método como uma ferramenta útil na investigação da variabilidade do sinal de precipitação. Pode-se observar que o ajuste da janela pela curtose do sinal permite detectar características locais corroborando para um processamento mais exato e possibilitando a geração de mapas que evidenciam a evolução espectral. Vale observar que os resultados obtidos apresentam, com êxito, o mapeamento do maior evento climático brasileiro ocorrido em janeiro de 2011.

Palavras-chave: Precipitação atmosférica; Mapeamento tempo-frequência; Transformada de Fourier com Janela Variável - VSTFT.

Abstract

Climate behavior knowledge in a certain region is very important to mankind. Climate change affects the basic conditions of human survival. There is a growing worldwide interest in encouraging interdisciplinary studies on climate monitoring. This study aims to identify atmospheric events with periodicity and intermittency that occurred in the city of Nova Friburgo in 2011. During this year, Nova Friburgo suffered its biggest environmental tragedy because of atmospheric precipitation. The study used a time-frequency analysis technique using the Fourier transform with variable window, applied to process non-stationary signals. The results generated with this technique show the localization of frequency components in time, which demonstrates that this method is a useful tool in the investigation of the precipitation signal variability. It can be observed that the adjustment of the window by the signal kurtosis allows to detect local characteristics corroborating for a more accurate processing. In addition, the window adjustments enable the generation of maps that show the spectral evolution with great accuracy. It is important to observe that these results successfully present the mapping of the largest Brazilian climatic event that occurred in January 2011.

Keywords: Atmospheric precipitation; time-frequency mapping; Variable Short-Time Fourier Transform – VSTFT.

1 Pesquisadora do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – IPRJ / UERJ, e-mail: frankalas@iprj.uerj.br.

2 Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa / RS, e-mail: fernandodias@unipampa.edu.br.

3 Professora Adjunto da Universidade Federal do Pampa / RS, e-mail: veraferreira@unipampa.edu.br.

Introdução

Atualmente, os registros provenientes das observações das variáveis climáticas abrangem tecnologias modernas e inovadoras, constituindo desde sensores acoplados a balões meteorológicos, aeronaves e bóias marítimas a satélites de observação meteorológica. A diversificação dessas informações, além de corroborar com o estabelecimento de uma plataforma global de armazenamento de dados meteorológicos, contribui com pesquisas que utilizam séries temporais relacionadas ao histórico dos valores coletados.

A importância do monitoramento de variáveis ambientais na região norte-fluminense tem sido crescente desde a tragédia de janeiro de 2011, na região serrana do Rio de Janeiro, a qual provocou deslizamentos e enchentes em vários pontos da cidade de Nova Friburgo, com inúmeras vítimas fatais. Esse acontecimento foi considerado uma das maiores tragédias climáticas do Brasil e despertou o interesse pelo acompanhamento de variáveis meteorológicas, tanto pelo cidadão comum como por pesquisadores de diferentes áreas científicas.

Os métodos de análise espectral de séries temporais permitem identificar padrões ou periodicidades, intrínseca aos dados, sendo uma das principais técnicas de entendimento da dinâmica temporal de sistemas climáticos (LATHI, 2009; VILLANI; SANCHES, 2013). Dentre estas, destacam-se as técnicas fundamentadas na análise de Fourier (OPPNHEIM, 1983).

É importante salientar que dados observados sofrem os efeitos perturbantes de variância no tempo, evidenciando o caráter não estacionário do sinal (LEE, 2013). Assim, técnicas clássicas no domínio da frequência, como a Transformada de Fourier (TF), não são adequadas para obter uma interpretação eficiente do sinal, pois tem-se o mascaramento das informações que evoluem com o tempo. Portanto, a utilização da análise tempo-frequência é uma necessidade para que se obtenha maior exatidão na descrição do espectro.

Neste trabalho é aplicado um esquema de análise de Fourier local com ajuste de resolução utilizando a curtose proposto por Dias (2014), denominado *Variable Short-Time Fourier Transform* (VSTFT). A aplicação dessa análise tem por objetivo realizar o mapeamento tempo-frequência dos sinais de precipitação no ano de 2011, período em que ocorreu a maior tragédia climática do Brasil, na cidade de Nova Friburgo / RJ.

1 Metodologia

1.1 Caracterização da área de estudo

O município de Nova Friburgo encontra-se localizado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro (Fig. 1), a 22° 16' 55" S de latitude e 42° 31' 52" W de longitude. O município situa-se em um “funil” geográfico, encravado em um vale em um dos pontos mais altos da Serra do Mar (COMPERJ, 2015). Segundo classificação de Koppen-Geiger, possui um clima tropical de altitude do tipo 'Csa', com invernos secos e verões amenos (Koppen, 1948).

Figura 1 - Localização geográfica de Nova Friburgo na região serrana do Rio de Janeiro.



Fonte: Os autores.

A série temporal estudada é proveniente de dados de chuvas adquiridos pela estação meteorológica de superfície pertencente ao Centro de Tecnologia em Meio Ambiente (Cetema) e situada no campus regional da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em Nova Friburgo. A Tabela 1 apresenta as características geográficas da localização da estação meteorológica do Cetema.

Tabela 1 - Características de localização da Estação Meteorológica do Cetema

Altitude	Coordenadas	Descrição	
882 metros	22° 17' 12.74" S 42° 32' 32.39" W	Região serrana do Rio de Janeiro	Cetema - Nova Friburgo

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.2 Obtenção da série temporal

A série climatológica da região para o ano de 2011 foi obtida a partir de registros de chuvas mensurados em intervalos de 15 minutos diários. A Tabela 2 apresenta a média mensal de precipitação obtida pelo Cetema, bem como os valores referentes a média histórica da região (1961-1990), registrada pelo INMET (1982).

Tabela 2 - Série temporal de precipitação para Nova Friburgo

	Média Histórica (1961-1990)	Cetema (2011)
Janeiro	232,1 mm	540,0 mm
Fevereiro	165,2 mm	182,5 mm
Março	154,6 mm	226,0 mm
Abril	61,4 mm	42,5 mm
Maio	39,8 mm	0,0 mm
Junho	32,3 mm	28,3 mm
Julho	24,7 mm	1,3 mm
Agosto	23,7 mm	19,5 mm
Setembro	52,4 mm	3,8 mm
Outubro	86,3 mm	197,0 mm
Novembro	186,1 mm	252,0 mm
Dezembro	221,2 mm	23,0 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

1.3 Mapeamento tempo- frequência

O principal objetivo da STFT é avaliar a evolução do espectro de frequência de um sinal no tempo. A idéia central é identificar frequências em determinados trechos onde o sinal e o suporte da janela coincidem. A translação da janela e a aplicação da TF aos trechos destacados produzem a análise local do conteúdo de frequências do sinal. A superposição dessas análises origina um quadro de imagens de frequências no tempo, isto é, um mapa de tempo-frequência. A STFT de um determinado sinal $s(t)$ é dada pela Eq.1, a seguir:

$$\text{STFT}(s(t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)g(t - \tau)e^{2\pi j\xi t} dt \quad (1)$$

onde ξ é a frequência (Hz)

t é o tempo (dias)

τ é a translação no tempo da janela g ,

j é a unidade imaginária dada por $\sqrt{-1}$.

O quadrado da STFT é chamado espectrograma de Fourier do sinal e apresenta resolução constante para uma determinada janela de tamanho fixo. Vale observar que o

espectrograma do sinal fornece o comportamento evolutivo do conteúdo de frequências no tempo com resolução determinada pelo comprimento do suporte da janela.

Os esquemas com janela variável, denominados VSTFT, cf. *Variable Short-time Fourier Transform*, propõe um esquema de Fourier local com janela também ajustada pela curtose do sinal (Dias, 2014). Convém comentar que o trabalho de Dias (2014) difere de Lee (2013) pois foi utilizado cumulantes na definição de curtose.

2 Resultados e discussão

Em sinais experimentais, a presença de componentes de frequência indesejáveis é bastante comum e sua não observância compromete o conteúdo de informação dificultando as análises e interpretações. Nesse sentido, é procedimento padrão tratar o sinal de forma a retirar tais componentes. A solução para a remoção das componentes de baixa frequência recai normalmente na utilização de filtros digitais, *wavelets* ou ajuste polinomial (AKANSUA et al., 2010; BERTOCCI et al., 2002). Vale notar que a presença das componentes de baixa frequência causa desvio da média em relação ao eixo temporal. Isso significa que os registros temporais têm média constante.

Na abordagem VSTFT, é fundamental a retirada do valor médio pois apenas se pode calcular a transformada de Fourier de sinais cuja a energia entre os tempos zero e infinito seja limitada. A versão de esquema VSTFT utilizada neste trabalho, emprega um polinômio de grau 5 para correção dos desvios, centralizando o sinal no eixo horizontal (eixo temporal).

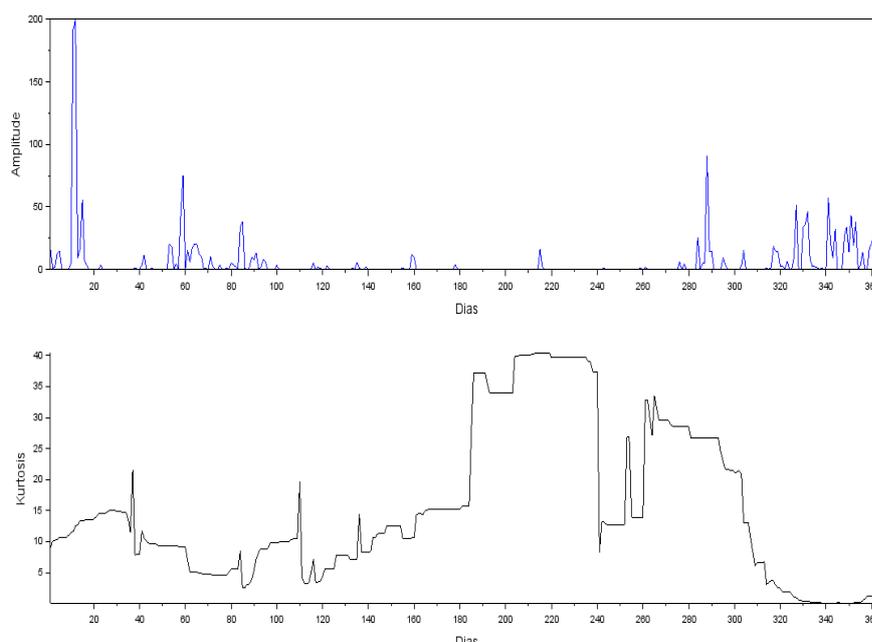
Neste trabalho, o sinal analisado é oriundo da série temporal de precipitação obtida para o ano de 2011 na cidade de Nova Friburgo/RJ. A grande intensidade de chuvas observada no período de verão vem de encontro com a tragédia ocorrida na região serrana nesta época. De fato, ao se analisar os resultados obtidos neste ano frente aos valores registrados pelas normais climatológicas da região (INMET, 1992), nota-se um aumento considerável da quantidade de chuvas, e a precipitação acumulada no mês de janeiro alcançou um total de 540 mm, valor este superior ao dobro da média histórica reportada (vide Tabela 2).

A Fig. 2(a) mostra um trecho de 2048 pontos do sinal experimental. Observe que o sinal apresenta características não estacionárias, o que prejudica a identificação das frequências existentes nesse trecho.

A amplitude do excesso de curtose mostrado na Fig. 2(b) identifica as mudanças de regime frequencial, bem como a localização das variações bruscas do sinal. Intervalos de tempo com excesso de curtose aproximadamente zero revelam que a densidade de

probabilidade do sinal é próxima da distribuição normal. Convém salientar que para valores de curtose maiores do que 3 a densidade de probabilidade do sinal possui gráfico com pico acentuado e caudas pesadas. Porém, para valores menores do que 3 o gráfico apresenta perfil de platô (achatado) e caudas leves (Vio & Wamsteker, 2002; Grenander & Miller, 2007).

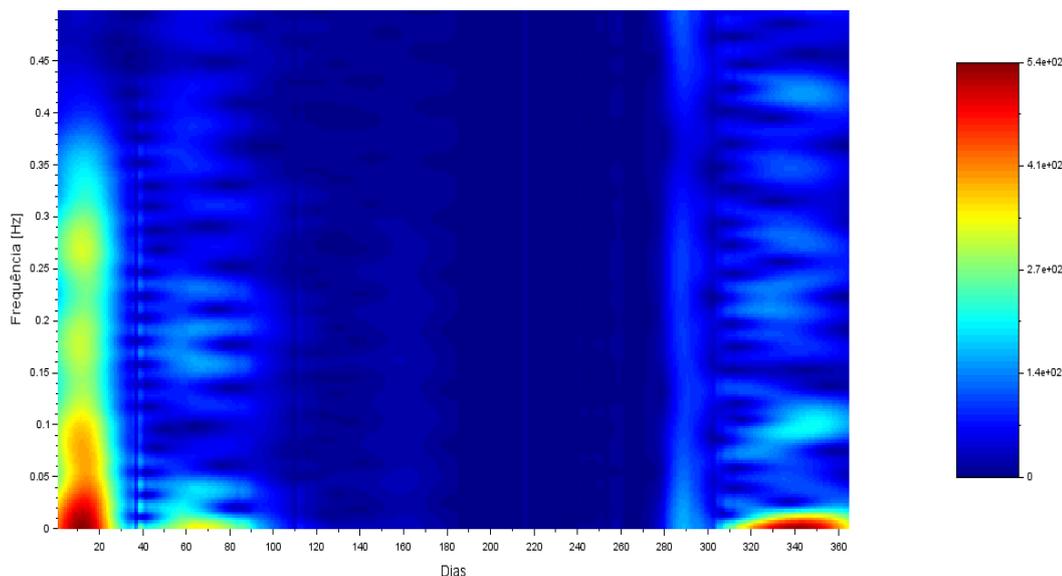
Figura 2 – Análise tempo-frequência do sinal experimental (acima - amplitude do sinal; abaixo - amplitude do excesso de curtose).



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Fig. 3 localiza os instantes de tempo em que ocorrem as maiores componentes de frequência, bem como os seus respectivos valores em Hz. Estes mapas apresentam a densidade de energia do sinal no domínio tempo- frequência, a qual pode ser averiguada de acordo com a distribuição cromática do espectrograma 2D. Também é possível visualizar os valores máximos (picos) de energia, bem como identificar as regiões onde esses valores estão localizados. Nota-se que o valor máximo de frequência apresentado no espectrograma encontra-se entre 0 e 20 dias, corroborando com o evento extremo de precipitação ocorrido nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. É importante salientar que a evolução das componentes de frequência destacadas é devida ao ajuste de resolução fornecido pelas estimativas locais do parâmetro curtose que controlam o suporte do núcleo da transformada, como previsto por Dias (2014) e Lee (2013).

Figura 3 - Representação tempo-frequência (espectrograma) do sinal experimental em 2D.



Fonte: Elaborada pelos autores.

3 Conclusões

Um esquema de janela variável da STFT, denominado VSTFT, foi aplicado a sinais de precipitação e obtido o mapeamento tempo-frequência. Os resultados gerados com aplicação do esquema VSTFT, evidenciam a localização das componentes de frequência no tempo, indicando este como uma ferramenta útil na investigação da variabilidade do sinal. Observou-se que o ajuste da janela pela curtose do sinal permite capturar informações locais, corroborando para um processamento mais exato, o que possibilita gerar espectrogramas que evidenciam a evolução espectral.

A metodologia VSTFT mostrou-se uma boa ferramenta no monitoramento e na captura dos eventos de chuva extrema na cidade de Nova Friburgo. Assim, por meio dessas análises é possível mapear a intensidade da precipitação em determinado período, assim como analisar as faixas de frequência presentes no sinal.

Referências

AKANSUA, A.N.; SERDIJN, W.A.; SELESNICK, I.W. Emerging applications of wavelets: A review. **Journal Physical Communication**, v. 3, p. 1–18, 2010.

BERTOCCI, U. et al. Drift removal procedures in the analysis of electrochemical noise corrosion. **Corrosion**, v. 58, p. 337, 2002.

COMPERJ. **Agenda 21 Nova Friburgo**. Disponível em: <<http://agenda21novafriburgo.com.br/o-municipio>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

- DIAS, F. L. **Um esquema de Fourier local para análise tempo- frequência de sinais não-estacionários aplicado a ruído eletroquímico**. Tese de Doutorado, IPRJ/UERJ, Nova Friburgo. 2014.
- GRENANDER, U. ; MILLER, M.I. **Pattern theory: from representation to inference**. v. 1. Oxford University Press Oxford, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: INMET, 84p. 1992.
- KOPPEN, W. **Climatologia con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 466 p. 1948.
- LATHI, B.P. **Linear systems and signals**. Oxford University Press. 2009.
- LEE, J.Y. Kurtosis based time-frequency analysis scheme for stationary or non-stationary signals with transients. **Information Technology Journal**, v. 12 (7), p.1394-1399. 2013a.
- LEE, J.Y. Variable short-time Fourier transform for vibration signals with transients. **Journal of Vibration and Control**, p. 1-15. 2013b.
- MUMFORD, D.; DESOLNEUX, A. **Pattern theory: the stochastic analysis of real-world patterns**. A K Peters, Ltd., Natick, MA. 2010.
- OPPNHEIM, A.V.; WILLISKY, A.S. e YONK, I. **Signals and Systems**. Englewood Clis, NJ: Prentice-Hall. 1983.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; McMAHON, T.A. Updated world map of Koppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11. p. 1633-1644, 2007.
- VILANI, M.T.; SANCHES, L. **Análise de fourier e wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 17, p. 1340-1346. 2013
- VIO, R. e WAMSTEKER, W. Joint time–frequency analysis: a tool for exploratory analysis and filtering of non-stationary time series. **Astronomy & Astrophysics**, v. 388, p. 1124-1138, 2002.