



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

## **ANÁLISE DE DISTÚRBIOS DE QUALIDADE DE ENERGIA UTILIZANDO A TRANSFORMADA DE WAVELET ATRAVÉS DO SOFTWARE MATLAB®<sup>1</sup>**

**Douglas de Castro Karnikowski<sup>2</sup>, Luis Felipe Bianchi Carbonera<sup>3</sup>, Rômulo Antônio Trentin Kohler<sup>4</sup>, Mauricio de Campos<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido no Grupo de Automação Industrial e Controle do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

<sup>2</sup> Bolsista PROBITI/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

<sup>3</sup> Bolsista PIBIT/UNIJUI, aluno do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

<sup>4</sup> Aluno do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle.

**Resumo:** O presente artigo visa à utilização da Transformada de Wavelet e da Análise Multiresolução na análise de distúrbios transitórios relacionados à Qualidade de Energia Elétrica, utilizando como ferramenta computacional o software MATLAB®, objetivando encontrar as famílias de Wavelets e o nível de decomposição dos sinais que representam de forma satisfatória os instantes de início, fim e a duração de cada perturbação.

**Palavras-Chave:** Qualidade de Energia Elétrica; Wavelet; Multiresolução; Transitórios.

Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é a área da Engenharia Elétrica que aborda os distúrbios de energia elétrica causados por variações de tensão, harmônicas de corrente e de tensão, transitórios, notching, cintilação, interrupções, ruídos, entre outros [1]. O estudo da QEE vem aumentando nos últimos anos, despertando o empenho de pesquisadores em identificar meios de diagnosticar, caracterizar e solucionar tais problemas. Assim, o método matemático mais comum para analisar os distúrbios é através da teoria de Fourier, entretanto, esse método só é eficiente no estudo de sinais estacionários no domínio da frequência. Para analisar sinais não estacionários emprega-se a teoria de Wavelet e a Análise Multiresolução (AMR), que pode identificar os instantes de início, fim e duração de cada perturbação das formas de onda senoidais de tensão e corrente.

Para realização da AMR é muito utilizada a Transformada Wavelet (TW), a qual caracteriza-se por decompor um sinal em bandas diferentes. Tal processo recebe o nome de decomposição Wavelet. A decomposição é realizada apresentando uma gama de variação nos graus de resolução de seus respectivos domínios.





**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

Pode-se dizer que existem duas funções típicas de um sistema Wavelet: função de base, que fornece uma boa resolução no domínio do tempo, em contrapartida resultando em uma má resolução no domínio da frequência. Já a outra função tem o intuito de realizar o processo contrário, permitindo obter uma melhor resolução no domínio da frequência, e uma má resolução no domínio do tempo. Podemos então conceituar que a análise de todos os coeficientes compostos em uma TW, de um sinal qualquer, permite diagnosticar, com excelente resposta, os efeitos surgidos instantaneamente que se reproduzem em determinadas frequências. Esse fato resulta em uma vantagem, se comparado com outras transformadas de sistemas de expansão, como a Transformada de Fourier e as Transformadas de Fourier Janeladas [1].

Com intuito de analisar distúrbios transitórios de QEE utilizando a TW e a AMR definiu-se a utilização do Toolbox do MATLAB®, wavemenu, que apresenta diversos recursos no processamento de sinais através da TW, e assim verificar a eficácia do método desta análise.

A Transformada de Wavelet Contínua (TWC) de um dado sinal qualquer em função do tempo  $f(t)$ , comparado a uma Wavelet "mãe", é dada pela equação 1.

$$TWC(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * \psi\left(\frac{t - b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Onde:

a: é o fator de escala;

b: é o fator de translação;

Na equação 1 é importante salientar que ambas as incógnitas, a e b, são contínuas no tempo. O sinal, unidimensional, originado por essa equação  $f(t)$ , será mapeado em uma nova função, em espaço bidimensional, com escala a e com uma translação b, pela TW. Todo coeficiente da TW,  $TWC(a,b)$ , tem uma escala e translação particulares, que irão representar a resposta do sinal original  $f(t)$ , correspondentes a Wavelet mãe " $\psi(t)$ ", apresentando a correlação entre esses sinais.

Para mudar a escala de uma Wavelet é introduzido um fator de escala, a, como mostrado na Figura 1, onde é realizada a análise a uma função  $\sin(t)$ . Na análise de Wavelet, a escala é relacionada com a frequência do sinal.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XX Seminário de Iniciação Científica

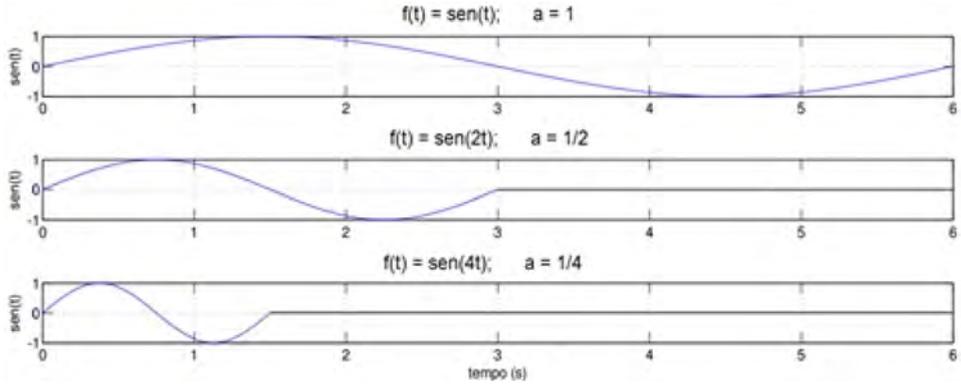


Figura 1: O fator de escala aplicado a uma equação  $f(t)$ .

Para realizar a translação de uma Wavelet qualquer, é inserido um fator de translação  $b$ , que permite deslocá-la no eixo do tempo. Um exemplo é visto na Figura 2, onde é inserido um atraso de tempo ao sinal original, desta forma a função que era composta por  $\psi(t)$ , agora será expressa por  $\psi(t-b)$ , onde  $b$  constante.

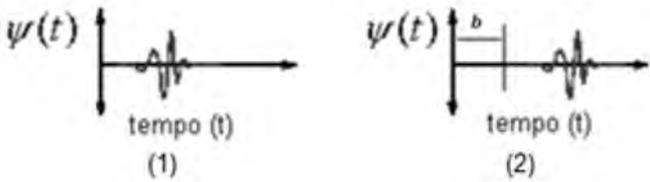


Figura 2: Translação do sinal  $\psi(t)$ : (1) sinal  $\psi(t)$  e (2) sinal  $\psi(t-b)$  com uma translação  $b$ .

Existem inúmeras famílias (funções) de Wavelets, todas elas podem ser utilizadas na análise de sinais, assim sendo, deve-se escolher a que melhor representa a resposta desejada. Na Figura 3 são representadas algumas famílias de Wavelets presentes no Toolbox do MATLAB®, onde: (a) Haar, (b) Daubechies (db), (c) Symmlet (sym) e a (d) Coiflet (coif) [2].

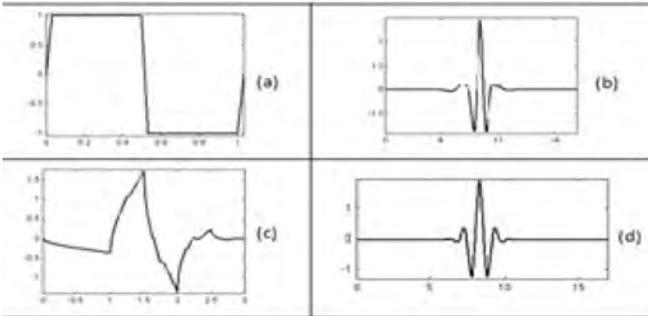


Figura 3: Representação de algumas Wavelets presentes no Toolbox do MATLAB®.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

A finalidade geral da aplicação de uma AMR consiste em decompor um sinal em sub-bandas de frequência, e em seguida analisar individualmente cada uma desses sinais. Na Figura 4 é mostrada a estrutura da AMR, onde  $S$  é o sinal original de entrada que passa através de um filtro passa baixas,  $g(k)$ , a função escala e de um filtro passa altas,  $h(k)$ , a Wavelet mãe. A saída do filtro passa baixa representa o conteúdo de baixa frequência do sinal de entrada. Já a saída do filtro passa altas representa o conteúdo de alta frequência do sinal de entrada ou os detalhes, obtendo-se o sinal  $cD$ , os coeficientes Wavelet que são a nova representação do sinal, e o sinal  $cA$ , os coeficientes da aproximação que são utilizados para manter o próximo estágio da decomposição de modo iterativo conseguindo uma decomposição em diversos níveis [3].

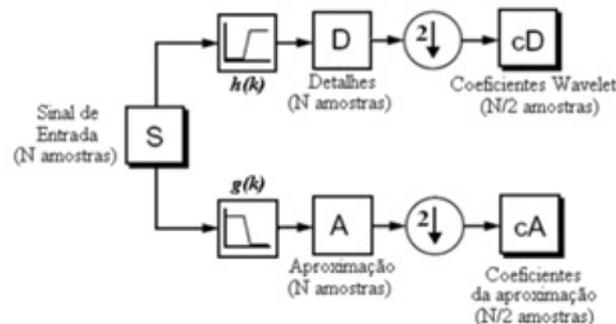


Figura 4: Ilustração do processo de decomposição de um sinal com a AMR.

Em sinais elétricos a decomposição da AMR é limitada pelo nível de frequência do sinal analisado [1]. A partir das técnicas citadas anteriormente são feitas simulações via software MATLAB® utilizando o Toolbox, wavemenu, onde foram realizados testes para identificar a família de Wavelets e o nível de resolução que representa melhor o sinal analisado a fim de identificar os momentos em que ocorrem os distúrbios de QEE. O método escolhido usa a decomposição Multiresolução do sinal no domínio do tempo, assim, as mudanças no padrão do sinal podem ser localizadas.

Para utilizar o Toolbox, wavemenu, é necessário primeiramente criar a função do sinal desejado no script do MATLAB®, depois deve se criar um arquivo no formato MAT-file da função utilizando a instrução “save”, que guardará os dados no formato binário em um novo arquivo. E é este novo arquivo que pode ser analisado no Toolbox. Para as simulações neste trabalho foi utilizado a Wavelet 1-D (One-Dimensional).

Na Figura 5, foi realizada a AMR utilizando a Wavelet mãe da família db em um sinal senoidal sem distorção (estacionário), a fim de comparar com os sinais que apresentam os distúrbios de QEE. Nota-se que a sinal (2) é constante, mostrando que o sinal analisado não possui transitórios.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XX Seminário de Iniciação Científica

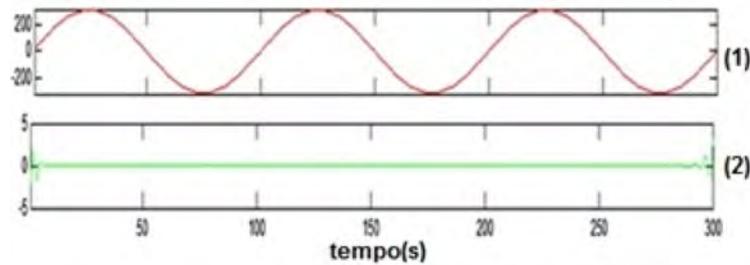


Figura 5: (1) Onda senoidal e (2) componente db de nível de decomposição 8.

Na Figura 6, é analisado um sinal onde ocorre uma variação na frequência, aplicando a AMR com a Wavelet da família coif é possível obter uma variação na componente de nível 1 no instante que ocorreu as variações de frequência.

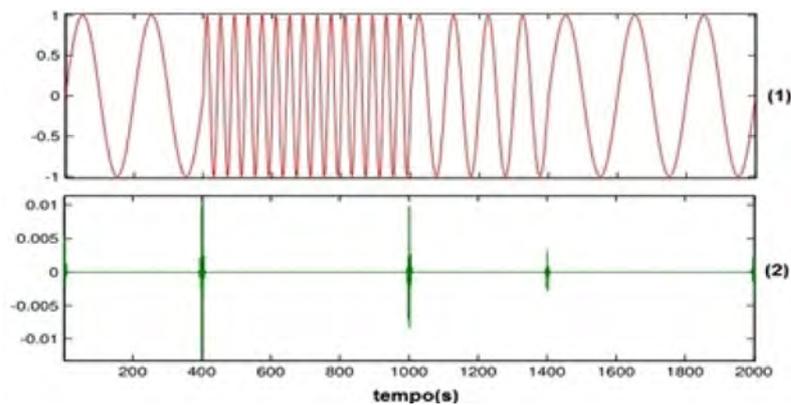


Figura 6: (1) Variação de frequência e (2) componente coif de nível de decomposição 1.

Na Figura 7, é aplicado a AMR mãe da família db em um sinal onde ocorre um distúrbios de tensão, possibilitando a identificação do momento de início, fim e tempo de duração do distúrbio.

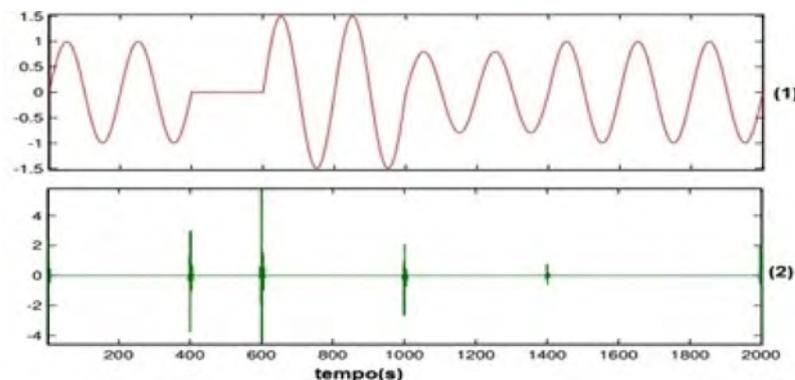


Figura 7: (1) Variações de tensão e (2) componente db de nível de decomposição 5.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

Na Figura 8 é feita a AMR utilizando a Wavelet mãe da família db de um sinal que possui um transitório impulsivo oscilatório, identificando o momento que ocorre o transitório.

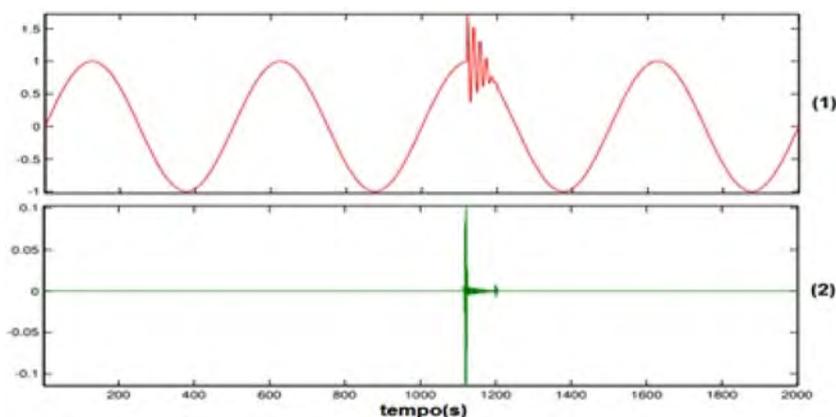


Figura 8: (1) Transitório impulsivo oscilatório e (2) componente db de nível de decomposição 5.

Esse trabalho propôs a utilização da Transformada Wavelet e da Análise Multiresolução na identificação de distúrbios de QEE do tipo não estacionários. Foi possível demonstrar a eficiência e a funcionalidade dessa ferramenta matemática, através das simulações realizadas no software MATLAB®, aplicando o presente método a sinais senoidais com distúrbios. Assim, pela análise gráfica foram obtidos resultados satisfatórios, apontando os pontos onde ocorreram os transitórios através das componentes geradas pela AMR. Entre as famílias de Wavelets avaliadas, as que apresentaram o melhor resultado foram a Daubechies e a Coiflet.

Como trabalhos futuros deverão ser desenvolvidos algoritmos de identificação dos distúrbios e também da utilização desse método em outros tipos de sinais.

[1] KERN, F. G.; Análise Da Qualidade De Energia Elétrica Utilizando Transformada Wavelet. Unijuí. Ijuí. 2008.

[2] MISITI, M.; MISITI, Y.; OPPENHEIM, G.; POGGI, J. Wavelet Toolbox™ - User's Guide. MATLAB® - MathWorks. 2012.

[3] MALLAT, S.G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. Pattern Analysis and Machine Intelligence. IEEE. 1989.