

IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM ROLAMENTOS ATRAVÉS DA DETECÇÃO DE ENVELOPE E DA DECOMPOSIÇÃO EM WAVELETS

Robson Demétrius Araújo Abreu

Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, S.J. del Rei, MG, 36307-352
robsonaabreu@yahoo.com.br

Jorge Nei Brito

brito@ufsj.edu.br

Paulo César Monteiro Lamim Filho

Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6051, Campinas, SP, 13083-970
lamim@fem.unicamp.br

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre as técnicas de detecção de falhas por análise de vibração em rolamentos através da Detecção de Envelopes e da Decomposição em Wavelets. Inicialmente, as técnicas foram aplicadas a modelos matemáticos de falhas nas pistas interna e externa dos rolamentos, em ambiente MATLAB; sendo, em seguida, feito um estudo comparativo entre essas técnicas através dos sinais artificiais gerados. Finalmente, através da aquisição de sinais reais de falha, as técnicas foram aplicadas a rolamentos com falhas induzidas em cada pista e em ambas as pistas simultaneamente sob variação da quantidade de lubrificante e submetidas a diferentes níveis de carga. Os testes foram realizados em uma bancada experimental onde também foi possível validar as técnicas em questão através do coletor/analizador de dados Microlog SKF GX-E e de seu software de apoio SKF Basic Vibration Analysis System. São apresentados os resultados relativos a cada modelo/técnica de acordo com as diferentes situações de operação dos rolamentos, sendo discutido os principais aspectos de cada método.*

Palavras-chave: *Rolamento, Detecção de Envelope e Decomposição em Wavelets.*

1. INTRODUÇÃO

As falhas em rolamentos são um dos tipos mais comuns de falhas em vários seguimentos da indústria. Em muitas aplicações, o impacto econômico de uma falha desta natureza pode extremamente exceder o custo da própria máquina, (Stack *et al*, 2003). Monitorar o seu estado de funcionamento, através de técnicas preditivas, é imprescindível para evitar que as falhas inesperadas ocorram, aumentando assim a disponibilidade do equipamento dentro da planta industrial.

Neste trabalho são apresentadas as técnicas de Decomposição em Wavelets e Detecção de Envelope. É feita uma comparação da eficiência destes métodos demonstrando as suas vantagens e limitações. Inicialmente as técnicas foram aplicadas a modelos matemáticos de falhas, implementados em ambiente Matlab, para as pistas interna e externa dos rolamentos. Através da aquisição de sinais reais de falha, as técnicas foram aplicadas a rolamentos com falhas induzidas em cada pista e em ambas as pistas simultaneamente, sob variação de lubrificante e ainda submetidos a três diferentes níveis de carga.

2. BANCADA DE TESTE

Os testes experimentais foram realizados em uma bancada didática, representada pela Figura 1, montada no LASID - Laboratório de Sistemas Dinâmicos, no Departamento de Mecânica, da Universidade Federal de São João del-Rei.

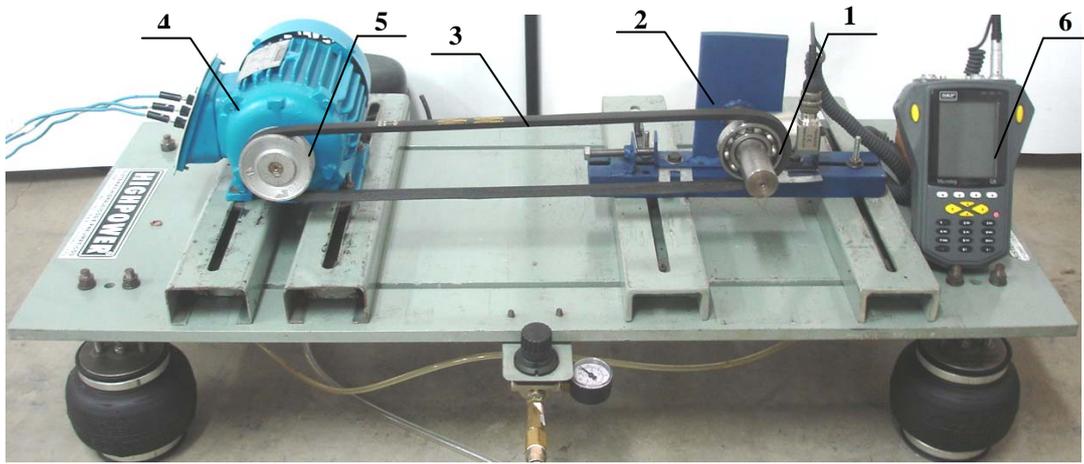


Figura 1: Bancada de teste

Antes de iniciar os testes, a bancada foi balanceada dinamicamente e alinhada com tecnologia a laser objetivando eliminar as fontes de vibrações indesejáveis. A estrutura flexível da bancada experimental possibilitou que os defeitos introduzidos se tornassem mais perceptíveis nos sinais coletados. Os defeitos foram induzidos em um conjunto de rolamentos da série 6206. O rolamento [1] é montado em um eixo engastado [2] que, em conjunto com uma correia industrial A-43 [3], permite a variação de carga radial. O rolamento é movimentado pela correia que é acionada por um motor WEG de indução trifásico [4] de 1/2 cv e 1720 rpm através de uma polia [5].

Com a aquisição de sinais reais de falha, utilizando uma placa de aquisição de dados e um acelerômetro, posicionado no eixo na direção radial em relação à região de carga, foi possível aplicar as técnicas a rolamentos com falhas induzidas em cada pista e em ambas as pistas simultaneamente, sob variação de lubrificante e ainda submetidos a três diferentes níveis de carga iguais a 3 kgf, 4 kgf e 6 kgf. Os valores da carga foram obtidos através de um medidor industrial de tensão em correias (Goodyear Industrial V-Belt Tension Tester). A placa utilizada possui 16 canais, NI-6251 da *National Instruments*, com frequência de amostragem máxima de 200 KHz.

As técnicas foram validadas pelo coletor e analisador de sinais *Microlog SKF GX-E* [6].

A série 6206 corresponde aos rolamentos fixos de uma carreira de esferas. São de tipo mais representativo e atendem um extenso campo de aplicações. Em todos os testes as falhas introduzidas nas pistas dos rolamentos simulam danos típicos, como o Falso Brinamento, conhecido também como Falso Brinel, e as Trincas Axiais. As falhas foram introduzidas através de brocas para tratamento dentário, movidas por uma mini-retífica. Os defeitos artificiais são perpendiculares ao raio do rolamento e possuem dimensão de 1 x 7,5 mm, com profundidade de aproximadamente 0,4 mm.

2.1. Analisador de dados *Microlog SKF GX-E*

Na Figura 2, tem-se o coletor e analisador de sinais *Microlog SKF GX-E* e seu acelerômetro.



Figura 2: *Microlog SKF GX-E*

Os sinais de vibração são transferidos para o computador através do programa de apoio *SKF Basic Vibration Analysis System*. Este procedimento permite realizar análises mais detalhadas, montar bancos de dados e gerar relatórios técnicos.

3. MODELO DE VIBRAÇÃO PARA FALHAS EM ROLAMENTOS

Nos mancais de rolamento, os defeitos locais produzem uma série de impactos que podem excitar ressonâncias na estrutura da caixa e na carcaça de um mancal ou um motor, por exemplo, entre 1 kHz e 20 kHz.

Segundo Brito (2002), as frequências características em (Hz) da pista externa (BPFO - *Ball Pass Frequency Outer Race*), da pista interna (BPFI - *Ball Pass Frequency Inner Race*), do elemento rolante (BSF - *Ball Spin Frequency*) e da gaiola (FTF - *Fundamental Train Frequency*), são dadas, respectivamente, pelas Equações 1, 2, 3 e 4, onde f_r é a frequência de rotação (Hz), d é o diâmetro da esfera ou do rolo (mm), D é o diâmetro primitivo do rolamento (mm), n é o número de esferas ou rolos e β é o ângulo de contato do rolamento.

De acordo com os modelos matemáticos, os rolamentos da série 6206 possuem BPFI igual a aproximadamente 145 Hz e BPFO igual a aproximadamente 95 Hz.

$$BPFO = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D} \right) \cos \beta \quad (1)$$

$$BPFI = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{d}{D} \right) \cos \beta \quad (2)$$

$$BSF = \frac{d}{2D} f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cos^2 \beta \right] \quad (3)$$

$$FTF = \frac{1}{2} f_r \left(1 + \frac{d}{D} \right) \cos \beta \quad (4)$$

3.1. Modulação

Existem diversos tipos de modulação dos quais podemos destacar: Modulação em Amplitude (AM), em Frequência (FM) e em Fase (PM). Os rolamentos quando submetidos à velocidade constante, as falhas que ocorrem em pontos da pista ou esfera que se deslocam em relação à região de carga sofrem modulação em amplitude, (McFadden, 1984; Braun, 1986; Mitchell, 1993; Bezerra and Pederiva, 2004).

Para que haja uma modulação em frequência no rolamento é necessário que a frequência de rotação do rolamento sofra variação durante o processo de aquisição. Durante os ensaios realizados para esse trabalho, a velocidade de rotação do rolamento foi mantida constante, logo se houver modulação em algum sinal de defeito, será em amplitude.

Para que haja modulação são necessárias duas ondas: uma moduladora e uma portadora. Na modulação em amplitude a portadora terá sua amplitude modificada proporcionalmente ao sinal modulante. Neste caso, o sinal modulante é a rotação da pista externa igual a 1800 rpm (30 Hz), com frequência menor que a frequência do sinal portador, frequência de falha na pista interna (145 Hz) e externa (95 Hz).

3.2. Demodulação

Os sinais artificiais provenientes de falha na pista externa forma submetidos a um filtro passa banda Butter Worth com faixa de corte entre 2.000 Hz a 8.000 Hz. A intenção do filtro é a

eliminação do ruído (15%) acrescentado ao sinal artificial, a fim de descrever fielmente seu comportamento.

Após a modulação, obtém-se um sinal denominado de envelope. O processo de demodulação em amplitude consiste em extrair o envelope. Na obtenção do envelope, pode ser usado um processo analógico através de placas chamadas de “detector de envelope” ou digitalmente através da transformada de Hilbert, (Haykin, 1989; Haykin and Veen, 2001; Bezerra and Pederiva, 2004).

Por ser um procedimento de fácil implementação e versátil, optou-se pela utilização da Transformada de Hilbert.

4. DETECÇÃO DE ENVELOPE

Caso a frequência central de ressonância não seja conhecida a técnica de envelope é composta dos seguintes procedimentos. O primeiro é a aplicação da Transformada de Fourier ao sinal. Com a aplicação da Transformada de Fourier pode-se definir a faixa de filtragem. O intuito deste procedimento é conhecer a frequência central de ressonância (f_c). Para o rolamento utilizado no teste é por volta de 3.000-7.000 Hz.

Verifica-se, de acordo com a Figura 3 (a), que o espectro da função modulada aparece com a frequência do sinal portador (frequência central de ressonância adotada é igual a 4.000 Hz) ladeada por frequências espaçadas da principal, de um valor igual à frequência do sinal de modulação (BPFO). Segundo Ponci and Cunha (2005), quando há um defeito na pista girante, a intensidade da vibração aumenta quando a região defeituosa da pista passa pela zona de carga, provocando uma modulação de amplitude da componente BPFO pela frequência de rotação da pista.

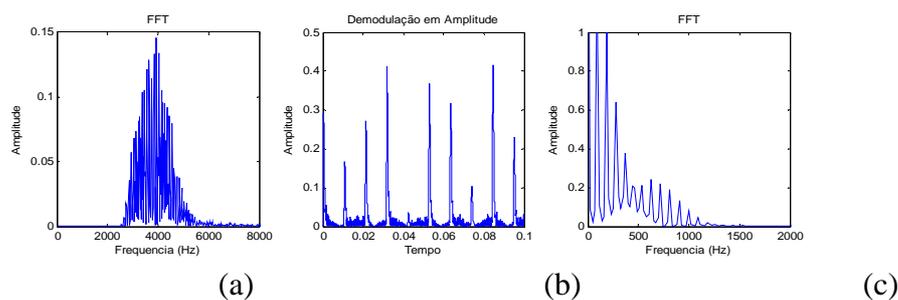


Figura 3: Detecção de Envelope através de sinais artificiais BPFO

A segunda etapa é a aplicação do filtro Passa Banda, representada pela Figura 3 (a) através do tratamento de sinais artificiais. O objetivo é eliminar frequências de vibrações indesejáveis, como as baixas frequências de alta amplitude. Foi utilizado para o processamento dos sinais reais de falha, filtro passa banda com faixa de corte entre 3.000 e 7.000 Hz.

O seguinte passo é a aplicação da Transformada de Hilbert, que tem como objetivo a obtenção do envelope do sinal de defeito, Figura 3 (b). Em seguida a aplicação de um filtro passa alta, para eliminação da componente DC. E por fim a aplicação da Transformada de Fourier ao envelope do sinal para a obtenção das frequências características de defeito, Figura 3 (c).

5. DECOMPOSIÇÃO EM WAVELETS

A Transformada de Wavelet (WT) não usa uma escala fixa na análise, mas sim varia a escala para evitar compromisso com uma escala específica. Essa transformada é independente da escala. Ela possibilita que um sinal seja analisado com boa resolução no tempo ou frequência.

A Transformada de Wavelet representa um avanço em relação à Transformada de Fourier, pois ela é uma técnica que usa escalas variáveis. A análise por wavelet permite o uso de uma escala menor quando se deseja maior resolução da informação contida no sinal em alta frequência, e uma escala maior quando se deseja maior resolução da informação contida no sinal em baixa frequência.

Existem diversas funções wavelets que podem ser usadas como wavelet mãe, dentre elas destacam-se as wavelets de Haar, Morlet, Daubechies, Meyer, Coiflet, Gabor, Cauchy, Bessel, Marr ('Mexican hat'), Poisson, Bessel, Shannon, Franklin entre outras.

Neste trabalho, utiliza-se a wavelets de Daubechies porque ela está disponibilizada no *toolbox de wavelet do software Matlab®*.

De acordo com Santiago and Pederiva (2004), uma das vantagens da análise por wavelet é permitir o uso de uma escala menor quando deseja-se melhor resolução no tempo da informação contida no sinal em alta frequência, e uma escala maior quando deseja-se melhor resolução em frequência da informação contida no sinal em baixa frequência. Isto é claramente observado na Figura 4 no domínio da frequência.

Semelhante a Transformada Rápida de Fourier (FFT), existe um algoritmo para implementação da Transformada Discreta de Wavelet (DWT) baseado na decomposição Rápida da Transformada de Wavelet (FWT), que é normalmente utilizado, e conhecido como Análise de Multiresolução (MRA) ou Algoritmo Piramidal de Mallat, o qual foi desenvolvido por Mallat em 1988, (Misiti *et al*, 1997; Mallat, 1989). Este algoritmo utiliza um processo especial de filtragem para decompor o sinal, onde, o conteúdo do sinal em baixa frequência é chamado de *Aproximação*, e o de alta frequência é chamado de *Detalhe*. Este processo de filtragem decompõe o sinal original em *Aproximações* e *Detalhes*, relacionado o filtro de acordo com a família da wavelet, e podem ser interpretados como filtros passa-baixa e passa-alta, respectivamente, como mostra a Figura 5, onde **S** representa o sinal e **A** e **D** representam, respectivamente a *Aproximação* e o *Detalhe*.

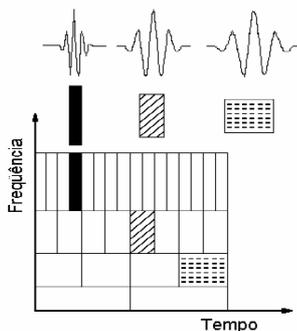


Figura 4: Decomposição em Wavelets

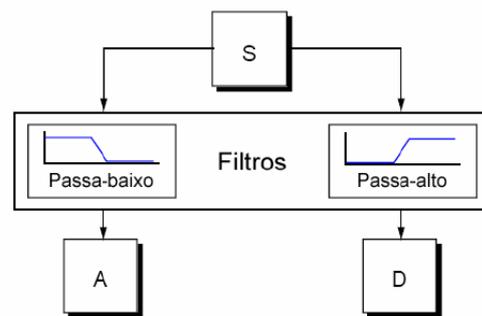


Figura 5: Processo de filtragem da wavelet

Resumindo, a teoria de multiresolução permite decompor um sinal da seguinte forma: primeiro, um sinal original discreto (**S**) é decomposto no primeiro nível em duas componentes e por um filtro passa-baixa e um passa-alta, respectivamente. **A1** é chamado de aproximação do sinal e **D1** é chamado de detalhe do sinal. Para o segundo nível, a aproximação é agora decomposta em uma nova aproximação, **A2** e um detalhe **D2**. Este procedimento pode ser repetido até sete níveis para a família db de ordem 4 (db4) e até dez níveis para a família db de ordem 1 (db1). A Figura 6 mostra a árvore de decomposição da wavelet de um sinal em três níveis.

A DWT mostrada na Figura 6 decompõe o sinal somente em baixas frequências ou a partir do coeficiente de *Aproximação*. Os vetores representados contêm informação do sinal original em diferentes bandas de frequências

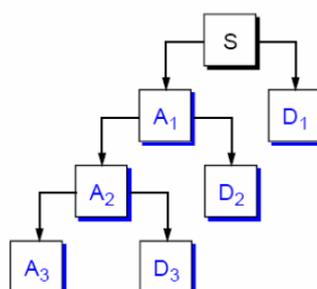


Figura 6: Árvore de decomposição da wavelet de um sinal em três níveis.

Neste caso a frequência de amostragem do sinal é 40.000 Hz, então a banda de frequência de análise relacionada ao vetor A1 é de 0-20.000 Hz, para D1 é de 20.000-40.000 Hz, para A2 é de 0-10.000 Hz, para D2 é de 10.000-20.000 Hz, para A3 é de 0-5.000 Hz, para D3 é 5.000-10.000 Hz e assim por diante. Como foi adotada a frequência central do sinal artificial igual a 4.000 Hz, o Detalhe nível 4, tanto para db1 assim como para db4, demonstra melhor sinal para BPF1, Figura 7. D4 possui uma faixa de frequência que varre de 2.500 Hz a 5.000 Hz. Níveis inferiores e superiores retornam sinais com amplitudes menores. Para BPF0 e para defeitos em ambas as pistas simultaneamente o comportamento é semelhante.

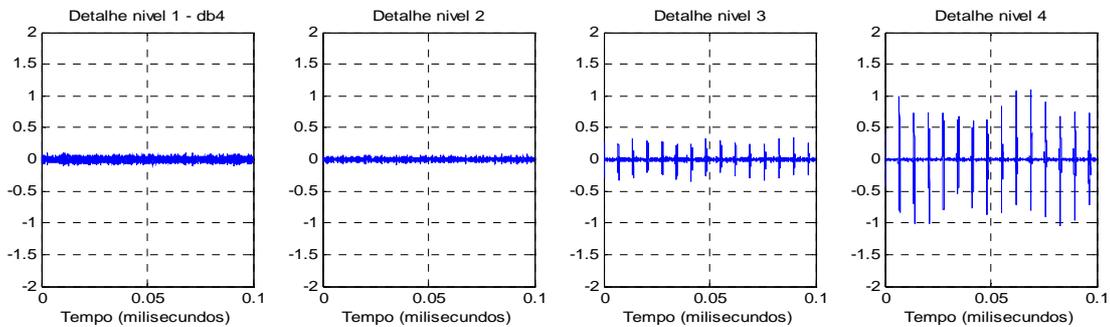


Figura 7: Níveis de Detalhe BPF1 para db4 através de sinais artificiais

6. RESULTADOS

Os mesmos procedimentos realizados para Detecção de Envelope e Decomposição em Wavelet através dos sinais artificiais foram utilizados para o processamento dos sinais reais de falha nas pistas interna, externa e em ambas simultaneamente. Os sinais reais de falha foram coletados em uma frequência de amostragem igual a 40.000 Hz e 20.000 pontos por segundo.

Com o aumento da carga, maior será a amplitude da frequência portadora e maiores serão as amplitudes do espectro. Estas amplitudes estão diretamente relacionadas às amplitudes dos níveis de carga na região de carregamento. De acordo com o gráfico da Figura 8, quanto maior os níveis de carga, assim como menores níveis de lubrificante, maior será a energia do sinal. Segundo Abreu *et al.*, (2006) as variações nos níveis de carga e lubrificante afetam significativamente a vibração e a taxa de desenvolvimento de falhas no rolamento. Neste caso a energia foi medida em RMS e Pico a partir da db4 através do Detalhe de nível 3, Figura 8 (a), para BPF1 e a partir do sinal no tempo, Figura 8 (b), também para BPF1. Lub 1 corresponde à suficiência de fábrica, Lub 2 corresponde a aproximadamente 60% da suficiência de fábrica. A energia relativa a BPFO e a ambos defeitos simultaneamente possui o mesmo comportamento.

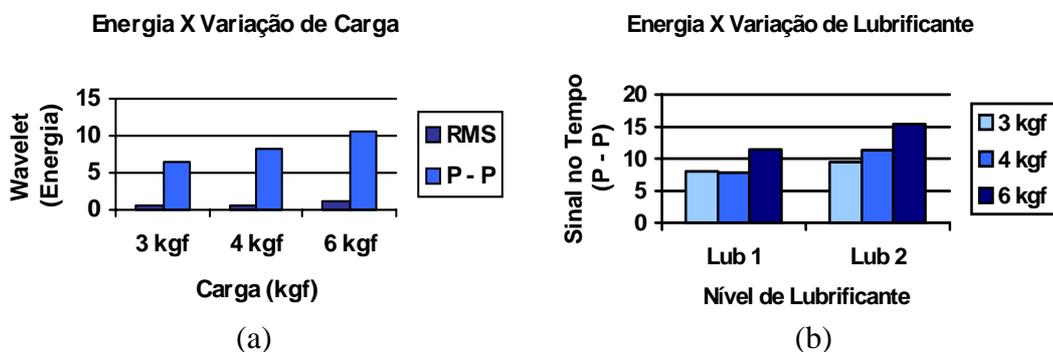


Figura 8: Variação da energia da wavelet devido a variação de carga e nível de lubrificante

6.1. Detecção de Envelope

De acordo com o envelope da Figura 9, obtida pela implementação em ambiente Matlab dos sinais reais de falha, nota-se que as amplitudes características de falha na pista externa, iguais a 94,6

Hz, apresentam-se menores, se comparadas ao envelope dos sinais de defeito na pista interna com frequência de falha igual a 142,7 Hz, Figura 10. Esse comportamento se deve a modulação em amplitude do sinal de falha causada pela frequência de rotação da pista externa do rolamento, em uma região de carga igual a 3 kgf.

O espectro proveniente de falha em ambas as pistas simultaneamente possui o mesmo comportamento. O envelope proveniente do sinal real processado, corresponde ao envelope dos sinais artificiais gerados, Figura 3 (c), e ao proveniente do *Microlog*. Todos os sinais reais de falha processados para defeitos nas pistas e para os três níveis de carga, corresponderam com os sinais artificiais gerados e com os dados do *Microlog*. Esta é uma validação das rotinas utilizadas para implementação dos modelos de falha.

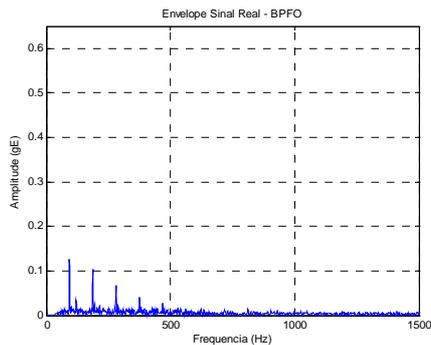


Figura 9: BPF0

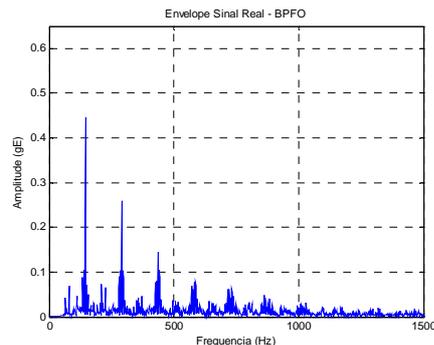


Figura 10: BPF1

No processamento dos sinais artificiais e reais de falha, as amplitudes nas frequências de BPF0, iguais a 94,67 Hz, se apresentam como bandas laterais dos harmônicos de BPF1.

Para BPF0 com o aumento da carga, de 3 kgf para 6 kgf, houve um leve aumento nas amplitudes das frequências determinísticas de falha e do número de harmônicos. Não houve aumentos de amplitudes e harmônicos proporcionais a elevação da carga, como para BPF1, devido à modulação em amplitude causada pela velocidade de rotação da pista externa.

Para, simultaneamente, BPF1 e BPF0, com o aumento da carga de 3 kgf para 6 kgf, as amplitudes das frequências características de falha na pista interna se apresentaram mais elevadas em relação ao mesmo procedimento realizado somente para defeito na pista interna. Esse comportamento se deve a existência de falha na pista em movimento, que favorece a excitação das frequências de falha da pista estacionária, o que leva a um aumento das amplitudes. A BPF0 manteve comportamento semelhante à análise realizada para o defeito somente na pista externa. Em todos os níveis de carga, as amplitudes da BPF0 apresentam-se como bandas laterais da BPF1.

A análise de envelope do sinal real para um rolamento com falha inserida fora da região de carga (pista interna), utilizando o mesmo filtro com as mesmas faixas de filtragem e submetido aos três níveis de carga não detecta as frequências características de defeitos na pista interna. Somente foi possível detectar as frequências determinísticas de falha após o ajuste do filtro passa banda, com faixa de corte entre 5.500 Hz e 7.000 Hz. Esse comportamento se manteve constante para os demais níveis de carga, com ressalva para o valor das amplitudes.

6.2. Decomposição em Wavelet

Utilizando a família Daubechies, composta por 10 Wavelets, comparou-se os resultados provenientes das famílias db1, db4, db6 e db8, para BPF1 sob carga de 3 kgf. Uma boa aproximação foi obtida com a utilização da db1 e db4. Entre essas duas ordens a db4 mostrou maior energia no Detalhe de nível 3, Figura 12, em relação a db1 - D3, Figura 14. Os Detalhes somente trazem as informações de alta frequência, como os defeitos introduzidos nas pistas dos rolamentos. O Detalhe nível 3 corresponde a faixa de frequência entre 5.000 Hz e 10.000 Hz, que contem a f_c . Para o rolamento utilizado a f_c é igual a aproximadamente 3.000-7.000 Hz, mais precisamente por volta de 6.000 Hz. Nos testes com sinais artificiais o Detalhe de nível 4 se mostrou mais eficiente uma vez

que foi adotada f_c igual a 4.000 Hz. O Detalhe nível 4 corresponde a faixa de frequência, entre 2.500 Hz e 5.000 Hz.

Os detalhes de níveis menores, como D1, devem apresentar menor energia, proveniente dos impactos de defeitos nas pistas. Este Detalhe possui uma faixa de frequência distante da f_c , variando entre 20.000 Hz e 40.000 Hz, portanto deve possuir menos interferências provenientes dos defeitos nas pistas. De acordo com a Figura 11 e Figura 13 a db4 apresentou D1 mais coerente, com menos interferência.

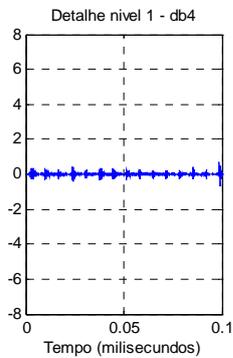


Figura 11: db4, D1

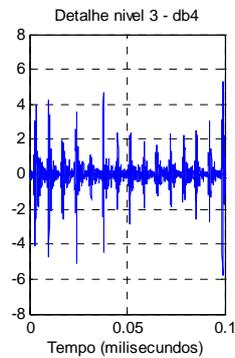


Figura 12: db4, D3

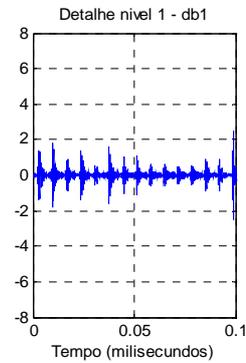


Figura 13: db1, D1

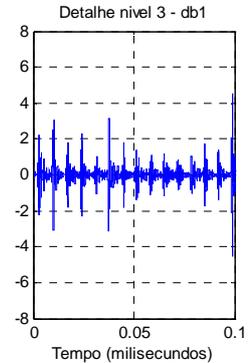


Figura 14: db1, D3

Através do envelope de db1 D3 e db4 D3, para defeitos fora da região de carga igual a 3 kgf (na pista interna) e sem a utilização dos filtros passa banda e passa alta, não foi possível detectar as frequências características de falha, cercadas pelo tapete formado pela presença de ruído, Figura 15. Através de db4 D2 e db1 D2 a frequência determinística para BPF1 se apresentou detectável. De acordo com a Figura 16 com BPF1 igual a 145,7 Hz, o envelope de db4 D2 resultou em um sinal com maior energia. Para db4 D1 e db1 D1 as frequências são identificadas com menor interferência de ruídos, porém com amplitudes baixas.

Fora da região de carga igual a 4 kgf, o envelope de db4 D1 e db1 D1 detectam as frequências com menor interferência de ruído em relação a db4 D2 e db1 D2. O envelope de db4 D1 apresentou menor interferência de ruídos aleatórios. Assim como para a região de carga igual a 3 kgf, não foi possível identificar as frequências de falhas provenientes dos envelopes de db1 D3 e de db4 D3.

Ainda para falha fora da região de carga, agora submetido a 6 kgf, através do envelope de db1 D1 e db4 D1 é possível identificar a frequência de falha para pista interna, com seus harmônicos e sem grande interferência de ruído. db1 D1 apresenta maior energia. O envelope de db4 e db1 D2 apresenta ruído considerável e identifica somente o primeiro harmônico. A partir de db1 e db4 D3 é identificada as frequências características com energia idêntica ao envelope proveniente do procedimento padrão de detecção de envelope, já com nova faixa de filtragem.

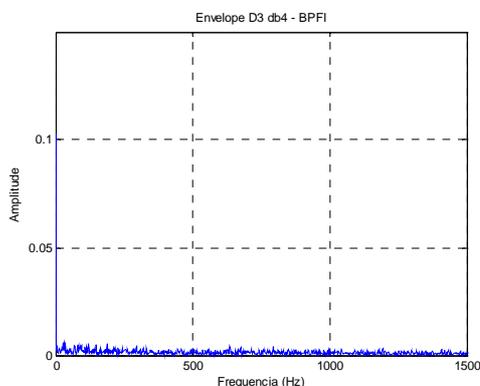


Figura 15: Envelope D3 db4, BPF1

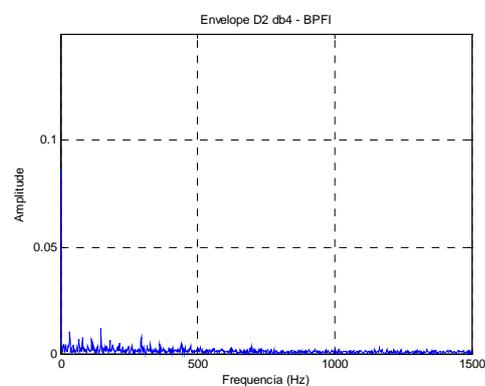


Figura 16: Envelope D2 db4, BPF1

7. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a análise baseada na decomposição de um sinal através da Wavelet e na detecção de Envelope permite a detecção das falhas nas pistas do rolamento.

Pela quantificação de energia através das formas de onda no tempo e dos detalhes da wavelet é possível verificar o quanto à insuficiência de lubrificante, assim como a variação de carga influencia os níveis da energia dos sinais. Essa variação afeta significativamente a taxa de desenvolvimento da falha no rolamento.

A desvantagem da detecção de envelope é a escolha do filtro e das suas faixas de corte. A decomposição em wavelet possui, devido ao Algoritmo Piramidal de Mallat, uma associação automática do filtro, de acordo com a wavelet mãe adotada. Em ambas as técnicas é necessário o conhecimento da frequência central de ressonância. Na técnica de detecção de envelope o conhecimento da f_c determinará a faixa de corte dos filtros utilizados. Na técnica de decomposição em wavelet os níveis de decomposição são determinados de acordo com o valor da f_c , que determinará o melhor nível de Detalhe a ser avaliado.

O defeito localizado fora da região de carga não promove uma excitação eficaz das frequências de defeito. A análise de envelope do sinal real para um rolamento com falha inserida fora da região de carga, somente detecta as frequências características de falha após o ajuste do filtro passa banda. É necessário conhecer praticamente a f_c exata do rolamento.

Após a decomposição em wavelet os detalhes, obtidos da falha fora da região de carga, foram submetidos a detecção de envelope sem a utilização dos filtros passa-alta e passa-banda. A partir das wavelets db1 e db4 foi possível identificar as frequências características de defeito na pista interna, de acordo com a variação da carga.

A aplicação da decomposição em wavelet assim como a detecção em envelope (técnica já bem difundida) é muito importante no monitoramento da condição e diagnóstico de falhas em rolamentos.

Como trabalhos futuros pretende-se aplicar a decomposição de wavelets para a detecção de falhas de origem mecânica, como o desalinhamento e desbalanceamento. Um estudo será realizado através da teoria da Transformada de Wavelet Packet (WPT), que é uma generalização da Transformada Discreta de Wavelet (DWT), para identificação de falhas incipientes nas pistas, gaiola e esferas do rolamento. Ainda será estudada a viabilidade da aplicação da teoria da Transformada de Fourier de Curta Duração (STFT), que transforma um sinal no domínio do tempo em uma função bidimensional no domínio tempo-frequência, representada através de um espectograma, para diagnóstico de falha em rolamentos.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

9. REFERÊNCIAS

- Abreu, R. D. A., Brito, J. N., Filho, P. C. M. L., Baccarini, L. M. R., 2006, “Estudo de Falhas em Rolamentos Provenientes de Tensões e Correntes Parasitas no Eixo do Motor”, Proceedings of the 4th National Congress of Mechanical Engineering. Recife - PE, Brazil.
- Bezerra, R. A., Pederiva, R., 2004, “Detecção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - S.P. Brasil.
- Braun, S., 1986, “*Mechanical Signature Analysis Theory and Application*”, London, Academic Press, England, Cap.7, Vibration Monitoring, pp. 173-215.
- Brito, J. N., 2002, “Desenvolvimento de um Sistema Inteligente Híbrido para Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos”. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, Brazil, 214p.

- Haykin, S., 1989, “*An Introduction to Analog and Digital Communication*”, New York, John Wiley & Sons, U.S.A., 652p.
- Haykin, S., Veen, B. V., 2001, “*Sinais e Sistemas*”, Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil, 668p.
- Mallat, S. G., 1989, “A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation”, *IEEE Pattern Analysis and machine Intelligence*, v.11, (7), pp. 674-693.
- McFadden, P. D. and Smith, J. D., 1984, “*Model for The Vibration Produced By Single Point Defect in a Rolling Element Bearing*”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 96(1), pp. 69-81.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, J. M., 1997, “*Wavelet Toolbox - User's Guide*”, The MathWorks, Inc.
- Mitchell, John S., 1993, “*Machinery Analysis and Monitoring*”, Oklahoma: Penn Well Books, U.S.A., 566p.
- Ponci, L. P., Cunha, P. M. R., 2005, “Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral e de Envelope”, *Teknikão*.
- Santiago, D. F. A., Pederiva, R., 2004, “Diagnóstico de Falhas em Máquinas Rotativas Utilizando Transformada de Wavelet e Redes Neurais Artificiais”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - S.P. Brasil.
- Stack, J. R., Habetler, T. G. and Harley, R. G., 2003, "Effects of Machine Speed on the Development and Detection of Rolling Element Bearing Faults". *IEEE Power Electron Lett.* Vol. 1, No. 1, pp. 19-21.

IDENTIFICATION OF DAMAGES IN BEARINGS THROUGH OF THE ENVELOPE DETECTION AND WAVELETS DECOMPOSITION

Robson Demétrius Araújo Abreu

Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, S.J. del Rei, MG, 36307-352
robsonaabreu@yahoo.com.br

Jorge Nei Brito

brito@ufsj.edu.br

Paulo César Monteiro Lamim Filho

Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6051, Campinas, SP, 13083-970
lamim@fem.unicamp.br

Abstract. *Bearings are the key components responsible for the premature rotating equipment damages. To monitor its operational condition through predictive techniques is essential to prevent unexpected damages to occur. In this work, a comparative study between vibration analysis techniques of bearing faults detection (Wavelets Decomposition and Envelopes Detection) is presented. Initially, these techniques were applied to inner and outer races mathematical models of faults, using MATLAB environment. Then, a specific study was held in order to compare these techniques. Finally, through acquisition of real faults signals, these techniques were applied in roll bearings with induced damages in each races and both races simultaneously under variation of the amount of lubricant and submitted to different load levels. The tests were held using an experimental bench. The techniques were validated through the signals, collected by Microlog SKF GX-E and the SKF Basic Vibration Analysis System software.*

Keywords: *Bearing Faults, Envelope Detection, Wavelet Decomposition.*