

AUMENTO DE DISPONIBILIDADE A PARTIR DA ESTIMATIVA DE MASSA TESTE EM BALANCEAMENTO DINÂMICO

José Nelberth dos Santos Bernardino¹

Diogo Batista Fernandes²

RESUMO

O balanceamento de equipamentos rotativos é realizado em três etapas: volta de referência, aplicação de massa teste e correção. A aplicação da massa teste é realizada de forma aleatória ou de acordo com a experiência do técnico, podendo assim ocorrer erros que colocam os envolvidos em risco de segurança, além de causar danos materiais e perdas de produção. A estimativa de massa teste, baseada no histórico do equipamento que será descrita ao longo deste estudo, servirá como um parâmetro de trabalho que evitará tais danos e riscos, além de uma potencial redução nos custos de produção. Foi desenvolvida uma bancada de testes a qual simula um equipamento desfibrador de cana, a fim de analisar o comportamento dinâmico de desbalanceamento do conjunto. Com êxito, baseado em dados estatísticos e históricos obtidos durante os testes, determinou-se uma massa teste que reduz em mais de 50% a magnitude da amplitude de vibração/oscilação do equipamento, imediatamente após sua inserção. Vê-se que este aprendizado pode ser aplicado no equipamento real, diminuindo os riscos inerentes à operação, pois reduz os níveis de vibrações de uma forma mais rápida e minimiza os perigos durante o processo de balanceamento. Logo, o equipamento pode ser liberado para voltar a operar em um intervalo de tempo reduzido, sintetizando os custos.

Palavras-chave: Desbalanceamento. Equipamento Rotativo. Magnitude. Manutenção Preditiva.

¹ Graduando do curso de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO.

² Orientador, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde (UniRV).

1 INTRODUÇÃO

No presente trabalho, *Manutenção preditiva: Técnicas de balanceamento dinâmico a partir da estimativa de massa teste*, objetiva-se minimizar os custos e tempo gastos no procedimento de balanceamento dinâmico, utilizando métodos analíticos e estatísticos. Ter-se-á como base os eventos que aconteceram em situações anteriores no equipamento, promovendo, assim, uma redução de riscos de acidentes e menos tentativas para se obter o balanceamento.

A problemática proposta manifesta-se a partir da dificuldade em determinar a massa teste, uma vez que, caso seja uma quantidade excessiva ou mínima, implicará diretamente no resultado do balanceamento, ou seja, tem que se utilizar uma quantidade exata, pois se ocorrer o erro na estimativa, será necessário retirar a massa teste e recomeçar o balanceamento, sendo que, na maioria das vezes, os equipamentos não podem ficar fora da produção por tempo elevado.

Soeiro (2008) relata que os primeiros estudos na engenharia voltados à vibração partiram do problema de balanceamento realizado em motores, sendo tanto um problema de projeto quanto de fabricação e manutenção. Logo, observa-se a relevância dos estudos das técnicas de balanceamento, que visam a sua melhoria, uma vez que são rotineiras na área de manutenção de equipamentos rotativos. O fato de estudar uma técnica ou procedimento utilizado na execução do balanceamento, tentando aprimorá-lo, apresenta a relevância acadêmica deste trabalho. Os resultados obtidos, a partir desse estudo, serão apresentados de forma a reduzir tempo, custos e riscos de acidentes, visando a relevância social que possui.

O desbalanceamento é altamente destrutivo. As máquinas sofrem desgastes em sua operação/utilização devido à deterioração natural (vida útil), normalmente gerada por atrito entre as partes e as impurezas agregadas à matéria-prima, acelerando a degradação dos componentes, como: agentes abrasivos, corrosivos, oxidantes. Pelo fato de sofrerem esses danos necessitam de acompanhamento constante e, na maioria das vezes, intervenções, ou seja, parar a produção para reparo.

Além disso, alguns equipamentos possuem sistemas de segurança nos quais existe um limite de partidas em um determinado espaço de tempo, caso exceda, a máquina entra em modo de segurança, impossibilitando sua reinicialização. De acordo com Coelho (2013), seja

qual for a interrupção no processo produtivo, são ocasionados problemas com relação aos custos da empresa, visto que este processo depende do maquinário e esse poderá ficar desativado por um determinado período, não possibilitando o alcance das metas previstas.

Ressalta-se, portanto, a extrema importância do acompanhamento destes maquinários e suas manutenções. Pesquisas constantes nesta área fomentam os estudos da engenharia, voltadas a ferramentas e técnicas que reduzem as falhas ao estágio inicial, assim diminuindo ou evitando o agravamento de defeitos. Como forma de minimizar as falhas prematuras, realiza-se o balanceamento dinâmico no equipamento.

O balanceamento dinâmico, acompanhado de instrumentos específicos, balanceadores, geralmente é realizado em três etapas: volta de referência, aplicação de massa teste e correção. Se por ventura ocorrer um erro durante a execução das três etapas, é necessário o recomeço do trabalho. O primeiro erro pode acontecer no emprego da massa teste, pois segundo a SKF (2012), a magnitude de deslocamento, após sua aplicação, deve apresentar uma variação de 30% acima ou abaixo do valor evidenciado na volta referência. Além desse parâmetro, a fase tem que alterar no mínimo 30°. Caso não haja variação destes parâmetros significa que a massa teste foi insuficiente. Logo, deve-se parar o equipamento novamente para a aplicação de nova massa, tendo que ser mais preciso. No caso de a massa ser inadequada, o equipamento pode ultrapassar os limites permissíveis de vibração, ampliando o risco à segurança.

Sendo assim, a partir do histórico do equipamento, com um banco de dados eficientes, acredita-se que, de acordo com a magnitude do desbalanceamento, pode-se definir a massa teste com precisão, evitando riscos à segurança e danos materiais devido a uma possível quebra do equipamento.

1.1 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva consiste em ações preventivas com base nas circunstâncias ou estado de cada elemento que compõe os maquinários. A obtenção dos dados é realizada através de técnicas que são utilizadas para mensurar o desgaste dos componentes, visando uma conformidade operacional. Logo, realizam-se testes periódicos, indispensáveis para definir o período em que deverá ocorrer a substituição ou reparo das peças que demonstram anomalias.

Os métodos que podem ser aplicados são análises de vibrações e monitoramento de mancais (WEBER *et al.*, 2008, p.5). Este tipo de manutenção segue sistematicamente as modificações que acontecem com os parâmetros de desempenho e condição e, de acordo com essas situações, aplicam-se as decisões cabíveis (KARDEC, NASCIF, 2009, p.7).

Portanto, Weber (*et al.* 2008) expõe que com a Manutenção Preditiva objetiva-se a antecipação das necessidades de intervenção em um equipamento ou itens internos, evitando desmontagens que são realizadas somente para inspeções, bem como a ampliação de disponibilidade das máquinas, com redução de manutenção corretiva, impede-se a propagação dos danos e se utiliza a máxima vida útil de todas as partes do conjunto.

Contudo, é possível perceber, a partir de estudos detalhados, que a manutenção preditiva exibe tão bons resultados que hoje é considerada uma atividade produtiva, sendo uma ferramenta de acompanhamento eficaz. Logo, principal técnica que consegue antecipar grandes danos com ações preventivas (SPAMER, 2009, p.12).

A seguir serão abordados tópicos que explicam conceitos relacionados a manutenção preditiva, e que ajudam o entendimento dos objetivos propostos neste estudo.

1.1.1 Balanceamento

Magalhães (2013) diz que de acordo com a International Standard Organization (ISO), o balanceamento é um procedimento pelo qual se verifica a distribuição da massa no rotor, caso haja a necessidade, a correção será realizada para que o equipamento trabalhe com os níveis de vibrações dentro da tolerância.

1.1.2 Desbalanceamento

O Desbalanceamento é um dos defeitos clássicos mensurados por análise de vibrações. Coelho (2013) o define como a massa que é distribuída assimetricamente na estrutura do rotor, provocando forças centrífugas que pressionam os mancais, o que coloca em risco a operação e a integridade das peças do equipamento.

O desbalanceamento em conjuntos rotativos é frequente. Esse defeito causa sérios danos à produção e ao rendimento da empresa, provocando a parada de produção e, até mesmo, quebra de equipamentos que geram perda de rendimento (MAGALHÃES, 2013, p.4).

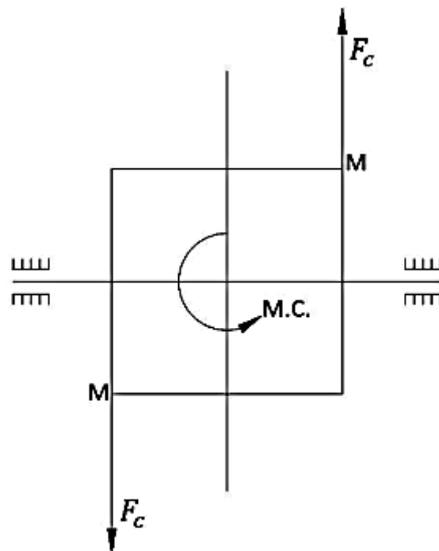
Esses danos influenciam em todo o processo de produção da empresa, visto que o dano reflete nas metas estipuladas a serem alcançadas durante o período de fabricação.

Apresentam-se duas situações de desbalanceamento:

- Estático: o centro de rotação não coincide com o de massa.
- Dinâmico: provoca vibrações causadas pelo Momento Centrífugo.

Um motor estando balanceado dinamicamente estará automaticamente balanceado estatisticamente, porém o inverso é inválido. Isso é provado uma vez que o desbalanceamento estático acontece quando a máquina não permanece parada em todas as posições; logo, gira sozinha. Ao estabilizar a máquina não significa que não há vibrações causadas pelo momento centrífugo que surge através do binário F_c/F_c em rotação, o qual pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Desbalanceamento Dinâmico



Fonte: Adaptado de Tavares (2014, p. 48)

1.1.3 Danos causados pelo desbalanceamento dinâmico:

- Sobre cargas nos mancais (carga extra).
- Trincas em carcaças, fundações etc. (Prédios 16-50 Hz)
- Diminuição da qualidade da peça obra

- 4) Parafusos e porcas soltam-se
- 5) Fadiga do operador
- 6) Ruído elevado

1.3 ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Dentre as várias ferramentas de Manutenção Preditiva a Análise de Vibrações serve para identificar vários defeitos provenientes de vibrações. Um corpo encontra-se vibrando quando ao redor de sua posição de referência existe um movimento oscilatório. Spamer (2009) define que a vibração trata-se de um movimento oscilatório relacionado a um ponto de referência provocado por algum tipo de força.

Esses movimentos vibratórios podem ser observados de várias formas, como em pêndulos, instrumentos musicais, movimentação de corpos nas redes cristalinas, nas indústrias em equipamentos rotativos, estruturas e na área da Física quando acontece a substituição de energia potencial em cinética ou ao contrário.

A vibração mecânica pode ser gerada intencionalmente para produzir trabalho, como, por exemplo, o britador, o compactador, a peneira são equipamentos que precisam vibrar, foram construídos para tal fim. Porém, motores que não pertencem ao grupo mencionado anteriormente, quando apresentam algum tipo de oscilação caracteriza um comportamento anômalo, podendo ser detectado através da análise de vibração.

Esse fenômeno de vibração é bastante utilizado na manutenção preditiva como fator essencial para definição de tendências, características e comportamentos. A teoria de vibração fundamenta-se no estudo de movimentos oscilatórios e às forças relacionadas a eles (RAO, 2008, p.6).

1.3.1 Grandezas físicas utilizadas na Vibração:

- Frequência;
- Amplitude;
- Fase.

1.3.1.1 Frequência

Spamer (2009) define frequência como sendo o número de ciclos que um evento acontece em um determinado período, medido na unidade (Hz) Hertz. Esta grandeza física será sempre positiva. A unidade de medida Hz designada pelo alemão Heinrich Hertz (1857-1894) representa:

$$1 \text{ hertz} = 1\text{Hz} = 1 \text{ ciclo/s} = 1 \text{ s}^{-1}$$

1.3.1.2 Amplitude

Rao (2008) define amplitude como sendo a extensão máxima do deslocamento de um corpo em relação a sua posição de equilíbrio. Logo, é o módulo máximo do vetor deslocamento do corpo, a partir da posição de equilíbrio. A unidade de medida para esta grandeza é metro, segundo o Sistema Internacional de Medidas (SI).

1.3.1.3 Fase

Spamer (2009) define que a fase, de acordo com as reações físicas encontradas na máquina, informa o ângulo que o sinal apresenta.

1.3.2 Vibração e seus parâmetros

Os parâmetros para medir os níveis de vibração são:

- Deslocamento;
- Velocidade;
- Aceleração.

1.3.2.1 Deslocamento

O deslocamento indica as energias de vibrações que ocorrem em baixa frequência sendo até 10 Hz ou 600 RPM. Observa-se o deslocamento para conseguir identificar o desbalanceamento em partes de máquinas rotativas que possuem amplitudes elevadas na frequência de rotação do eixo (SPAMER, 2009 p.56).

1.3.2.2 Velocidade

A velocidade, segundo Spamer (2009), é o parâmetro que possui menor influência provocada por ruídos de baixa ou alta frequência. Apresenta um espectro mais linear das curvas, sendo o parâmetro, geralmente, aplicado para acompanhamento e identificação dos seguintes problemas:

- Rigidez insuficiente;
- Desbalanceamento;
- Desalinhamentos;
- Empenamento;
- Folgas;
- Desgaste em acoplamentos;
- Passagem de pás;
- Problemas elétricos.

1.3.2.3 Aceleração

Para Spamer (2009), a aceleração de vibração representa a melhor ferramenta para componentes em alta frequência. Logo, a aplicação da aceleração na monitoração de frequências que variam entre 1000 Hz a 10000 Hz é altamente recomendada para identificar os seguintes problemas.

- Engrenamento;
- Falhas de rolamento;
- Cavitação;

· Problemas elétricos.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 MATERIAIS

A bancada para os testes de balanceamento foi desenvolvida com sucesso conforme exposto na Figura 2, composta por um motor modelo ARK 80 B2, 1,5 CV e uma rotação de 3500, dois mancais F 205, dois rolamentos Y 205, um conjunto de acoplamentos Antares AT-25, eixo com comprimento de 470 mm, 32 mm de diâmetro, 6 discos de 116 mm de diâmetro com 8 furos de 9,36 mm de diâmetro cada, dois parafusos de 12,7 x 25 mm de fixação para cada mancal, 4 parafusos de 12,7 x 25 mm para fixação do motor, 4 parafusos de 12,7 x 50 mm para fixar a estrutura, uma bancada onde o equipamento foi instalado, 1 chave de comando PDWM04 – 1,5AV25 para ligar e desligar o equipamento.

Figura 2 - Bancada para testes



Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Utilizou-se também um analisador de vibrações do tipo Microlog GX-70, 1 tacômetro, 1 acelerômetro, uma base magnética para fixação do tacômetro, 1 balança de precisão SF-400, parafusos, porcas e arruelas que serviram como pesos e duas chaves de ½” polegada, para fixação dos parafusos. Todo material elencado pertence a uma indústria sucroenergética localizada no município de Jataí-GO.

2.2 MÉTODO

Para iniciar os testes, realizaram-se alguns procedimentos: montar o Microlog GX-70 na estrutura da bancada; fixar o acelerômetro na lateral da estrutura para mensurar os níveis de vibração conforme está demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Montagem dos instrumentos na bancada



Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Colagem da fita refletiva no acoplamento para a leitura do tacômetro demonstrada na Figura 4, que serve de referência inicial de todo balanceamento; a fixação da base magnética, que serviu de suporte ajustável para garantir a leitura do tacômetro.

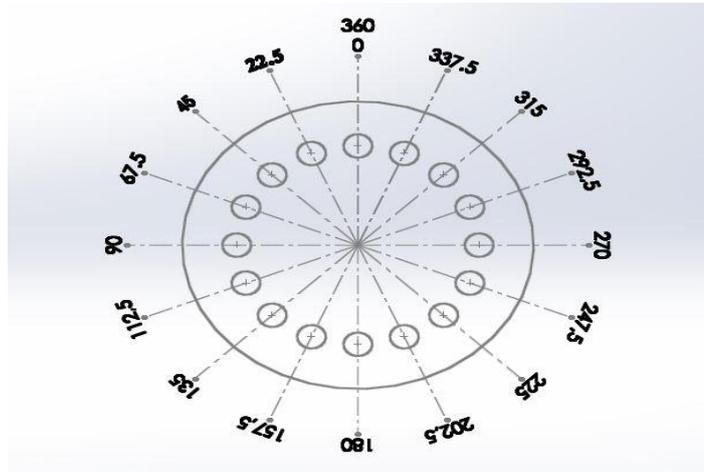
Figura 4 - Aplicação da fita refletiva no acoplamento



Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Os discos foram montados com os furos intercalados para a maximização das possibilidades de ângulos na aplicação de massas. Dessa forma, como cada disco possui 8 furos, montando de forma intercalada um disco em relação ao outro, tem-se 16 furos, ou seja, 360° divididos por 16 furos, como na Figura 5.

Figura 5 - Divisão de 360° em 16 furos, dois discos



Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Para poder iniciar os testes, ajustou-se o conjunto, corrigindo o desbalanceamento provocado pela forma de montagem, pois os discos foram travados no eixo através de pontos de solda, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Forma de fixação dos discos



Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a correção, obtiveram-se os valores representados através da Figura 7.

Figura 7 - Resultado do balanceamento do conjunto, ajuste da montagem

RPM	3500
MAGNITUDE	0,069 mm/s
FASE	185°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Com a garantia de que o conjunto encontrava-se balanceado, deu-se início aos testes.

A massa desbalanceadora utilizada em todos os testes foi de 25 g. Essa foi fixada inicialmente no furo 1 do disco 2, para iniciar a volta de referência, o resultado está representado pela Figura 8.

Figura 8 - Volta referência, disco 2, teste 1

RPM	3500
MAGNITUDE	4,21 mm/s
FASE	30°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Logo após a volta de referência, aplicou-se de forma aleatória uma massa de 21 g como massa teste em um dos furos. O software, por questões de configurações, entende que o ângulo dessa aplicação é o 0°, sendo assim o ângulo de referência. E, então, efetuou-se a segunda volta, obtendo os resultados que estão na Figura 9.

Figura 9 - Volta massa teste, disco 2, teste 1

RPM	3500
MAGNITUDE	3,14 mm/s
FASE	90°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Como já foi citado anteriormente, a magnitude apresentada após a aplicação da massa teste tem que apresentar uma variação de 30% acima ou abaixo do primeiro valor para que a massa utilizada como referência seja satisfatória. Nesta situação, obteve-se uma variação de aproximadamente 25,4 % para a magnitude. Porém, a fase teve uma variação de 60°, confirmando a validade da massa teste utilizada. Os valores de correção indicados pelo aparelho foram apresentados através da figura 10.

Figura 10 - Correção indicada, disco 2, teste 1

MASSA	23,4
FASE	45°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Porém aplicou-se uma massa exata, como podemos observar na figura 11.

Figura 11 - Correção aplicada, disco 2, teste 1

MASSA	24
FASE	45°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Após aplicar a massa de correção obtiveram-se os resultados demonstrados na figura 12.

Figura 12 - Resultado obtido, disco 2, teste 1

RPM	3500
MAGNITUDE	0,538 mm/s
FASE	200°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Observando os resultados obtidos, pode-se afirmar que para uma magnitude de 4,21 mm/s de vibração foi necessária uma massa de 24 g para a correção, tendo assim uma redução de 87,2% da magnitude inicial. Baseado nesta informação, realizaram-se outros testes, utilizando a mesma massa desbalanceadora em posições diferentes no mesmo disco. Já que para uma magnitude de 4,21 mm/s foi necessária uma massa de correção de 24 g, caso seja

apresentada uma magnitude igual ou próxima de 4,21 mm/s, utilizaremos os 24g como massa teste na tentativa de concluir o balanceamento na volta referência ou apenas reduzir os níveis de vibração.

Alterando a massa desbalanceadora do furo 1 do disco 2 para o furo 2 do mesmo disco, realizou-se a volta referência, em que se obtiveram os valores que estão representados na Figura 13.

Figura 13 - Volta referência, disco 2, teste 2

RPM	3500
MAGNITUDE	4,28 mm/s
FASE	77°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Analisando os valores apresentados, tem-se que o ponto de maior intensidade de deslocamento encontra-se em um ângulo de 77°, como o disco dois não possui esta opção de montagem; no disco 3, tem-se 67,5° e oposto a este ângulo 247,5°, em que foi aplicada a massa teste estimada de 24 g, baseada no histórico. O resultado está a seguir na figura 14.

Figura 14 - Volta massa teste, disco 2, teste 2

RPM	3500
MAGNITUDE	2,32 mm/s
FASE	6°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Comparando a magnitude antes da massa teste estimada e após, teve-se uma redução considerável de vibração, resultado este satisfatório, pois os níveis de vibração não aumentaram.

Passando do furo 2 do disco 2 para o furo 3 do mesmo disco, de acordo com a Figura 15, a volta referência apresentou:

Figura 15 - Volta referência, disco 2, teste 3

RPM	3500
MAGNITUDE	4,4 mm/s
FASE	121°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Como a magnitude não apresentou alterações consideráveis, aplicou-se a massa de 24 gramas que é a indicada para valores iguais ou aproximados de 4,21 mm/s.

Observando o disco, viu-se que o mesmo não dispõe de um furo no ângulo de 121°, porém, como os discos possuem furos intercalados, utilizou-se o ângulo de 112,5° do disco anterior para fazer a contagem dos ângulos. Portanto, o ângulo oposto a esta posição será 292,5°, onde foi montada a massa teste, cujo resultado está na Figura 16:

Figura 16 - Volta massa teste, disco 2, teste 3

RPM	3500
MAGNITUDE	2,29 mm/s
FASE	57°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Mais uma vez, o resultado foi positivo, pois demonstrou uma redução de vibração.

Alterou-se mais uma vez a posição da massa desbalanceadora, desta vez do furo 3 do disco 2 para o furo 4 do mesmo disco. Os resultados estão demonstrados na Figura 17.

Figura 17 - Volta referência, disco 2, teste 4

RPM	3500
MAGNITUDE	4,4 mm/s
FASE	157°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Novamente, a magnitude não apresentou alterações, portanto, inseriu-se a mesma massa teste aplicada anteriormente. Com relação à posição, o ideal seria aplicar a 180° da fase indicada pelo software, porém, o mais próximo foi o de 157,5° e oposto a esta posição têm-se

337,5°, onde se empregou a massa teste estimada de 24 g. De acordo com a Figura 18, os resultados foram:

Figura 18 - Volta massa teste, disco 2, teste 4

RPM	3500
MAGNITUDE	2,35 mm/s
FASE	101°

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

A terceira tentativa também apresentou as mesmas tendências para os resultados. Logo, os testes realizados nas varrições dos furos do mesmo disco apresentaram uma redução da magnitude, sendo assim, um fato benéfico para o balanceamento.

A Figura 19 demonstra todos os testes realizados, resultados e a sequência em que foram realizados.

Figura 19 - Resultados dos testes

ESTIMATIVA DE MASSA TESTE		Rotação (rpm)	Ângulo de aplicação da massa teste (°)	Massa teste (g)	Massa desbalanceadora (g)	mag (mm/s)	Fase (°)	Masa de correção (g)	fase de correção (g)	
	Volta referência em vazio	3500					185			
FURO 1	Volta Desbalanceado	3500	-	-	25	4,21	30°	-	-	1
	Volta Massa Teste	3500	60°	21	-	3,14	90°	-	-	2
	Correção indicada	3500	-	-	-	-	-	23,4	45°	3
	correção aplicada	3500	-	-	-	-	-	24	45°	3
	resultado obtido	3500	-	-	-	0,538	200°	-	-	4
FURO 2	Volta Desbalanceado	3500	-	-	25	4,28	67,5°	-	-	5
	Volta Massa Teste	3500	247,5°	24	-	2,32	6°	-	-	6
	Correção indicada	3500	-	-	-	-	-	25	327°	7
	Correção aplicada	3500	-	-	-	-	-	25	315°	7
	Resultado obtido	3500	-	-	-	-	-	-	-	
FURO 3	Volta Desbalanceado	3500	-	-	25	4,40	121°	-	-	8
	Volta Massa Teste	3500	292,5°	24	-	2,29	57°	-	-	9
	Correção indicada	3500	-	-	-	-	-	26,8	328°	10
	Correção aplicada	3500	-	-	-	-	-	26,8	337,5°	10
	Resultado obtido	3500	-	-	-	-	-	-	-	
FURO 4	Volta Desbalanceado	3500	-	-	25	4,4	1,57°	-	-	11
	Volta Massa Teste	3500	337,5°	24,	-	2,35	101°	-	-	12
	Correção indicada	3500	-	-	-	-	-	28,6	328°	13
	Correção aplicada	3500	-	-	-	-	-	28,6	337,5°	13
	Resultado obtido	3500	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: José Nelberth dos Santos Bernardino, 2017.

Teste realizado no disco 2 furo 1:

- 1 Etapa Teste 1: Equipamento desbalanceado, Volta referencia;
- 2 Etapa Teste 1: Aplicação de massa teste e demonstração dos resultados após aplicação da mesma;
- 3 Etapa Teste 1: Demonstração da massa de correção e a posição de aplicação da mesma em graus radiano;
- 4 Etapa Teste 1: Demonstração dos resultados obtidos após aplicação da massa de correção;

Teste realizado no disco 2 furo 2:

- 5 Etapa Teste 2: Equipamento desbalanceado, volta referencia;
- 6 Etapa Teste 2: Aplicação de massa teste e demonstração dos resultados após aplicação da mesma;
- 7 Etapa Teste 2: Demonstração da massa de correção e a posição de aplicação da mesma em graus radiano;

Teste realizado no disco 2 furo 3:

- 8 Etapa Teste 3: Equipamento desbalanceado, Volta referencia;
- 9 Etapa Teste 3: Aplicação de massa teste e demonstração dos resultados após aplicação da mesma;
- 10 Etapa Teste 3: Demonstração da massa de correção e a posição de aplicação da mesma em graus radiano;

Teste realizado no disco 2 furo 4:

- 11 Etapa Teste 4: Equipamento desbalanceado, Volta referencia;
- 12 Etapa Teste 4: Aplicação de massa teste e demonstração dos resultados após aplicação da mesma;
- 13 Etapa Teste 4: Demonstração da massa de correção e a posição de aplicação da mesma em graus radiano;

4 CONCLUSÃO

Avaliando os resultados alcançados e os métodos aplicados, conclui-se que é possível estimar a massa teste, baseando-se em históricos de balanceamentos passados aplicados no respectivo equipamento, desde que alguns parâmetros não sejam alterados, tais como: a rotação, a posição de aplicação da massa e a rigidez.

Concluiu-se também que é possível finalizar o balanceamento na volta da massa teste, pois é notória a relação existente entre valores de magnitude e massa de correção, de forma que cada magnitude terá sua massa de correção fixa independente do ângulo de desbalanceamento demonstrado pelo aparelho.

Observando o comportamento da magnitude, após a aplicação da massa teste estimada, pode-se afirmar que reduzimos os riscos de segurança, pois os valores de vibração foram minimizados já na volta com a massa teste. Com relação a custos e produção, caso aconteça uma diminuição na mesma proporção dos testes, pode-se liberar o equipamento para funcionar e em uma oportunidade melhor, com parada programada, realizar o trabalho com mais precisão.

Portanto, utilizando a estimativa de massa teste, será possível reduzir custos e o tempo demandado para o procedimento de balanceamento, garantindo e ampliando a disponibilidade dos equipamentos que passam por este procedimento.

ABSTRACT

The balance of rotary equipment is accomplished in three steps: reference back, application of test mass and correction. The application of the test mass is realized in a random way or according to the technician's experience, being able to errors occur and put the involved in security risk, besides causing materials damage and production losses. The mass test estimate, based on the equipment history, which will be described throughout this study, will serve as a working parameter that may avoid damages and risks, in addition to a potential reduction in production costs. A test bench was developed to simulate a sugarcane shredder to analyze the dynamic behavior of unbalance of the set. Based on statistical and historical data obtained during the tests, it was determined a test mass that reduces more than 50% of the magnitude of the vibration/oscillation amplitude of the equipment immediately after its insertion. It is seen that this learning can be applied to a real equipment, reducing the inherent risks of operation, as it can reduce vibration levels more quickly and minimizes hazards during the balance process. Thus, the equipment can be released to re-operate in a reduced time, synthesizing the costs.

Keywords: Unbalance. Rotary Equipment. Magnitude. Test mass.

REFERÊNCIAS

- COELHO, G. A. T. *Balaceamento Dinâmico de um Simulador de Máquinas Rotativas*. Projeto de Graduação. Escola Politécnica Engenharia Naval e Oceânica, Rio de Janeiro, 2013.
- KARDEC, A; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica*. 3 ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009. 384p.
- MAGALHÃES, D. L. *Balaceamento de Rotores Utilizando os Métodos dos 3 Pontos e do Coeficiente de Influência*. Projeto de Graduação. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- RAO, S. S. *Vibrações mecânicas*. 4 ed. rev. téc. LIMA JÚNIOR, J. J. trad. SIMILLE, A. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- SOEIRO, N. S. *Curso de Fundamentos de Vibrações e Balaceamento de Rotores*. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia ITEC, Faculdade de Engenharia Mecânica FEM, Grupo de Vibrações e Acústica GVA, Belém, 2008.
- SKF. *WE 250 Balaceamento Dinâmico de Campo*. 1 ed. Cajamar-SP: SKF, 2012.
- SPAMER, Fernanda Rosa. *Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas*. Projeto de Graduação. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- TAVARES, G. *Elementos orgânicos fundamentais de máquinas e implementos agrícolas*. 2 ed. rev. ampl. Lavras: Ed. UFLA, 2014. p.46.
- WEBER, A.J.; AMARAL FILHO, D.; ALEXANDRIA JUNIOR, J.P.; CUNHA, J.A.P.; ARAÚJO, P. *Curso Técnico Mecânico - Manutenção Industrial*. 1 ed. Contagem: SENAI, 2008.