



**UMA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL SOBRE A DINÂMICA NÃO  
LINEAR DE UMA FUNDAÇÃO DE MOTOR NÃO IDEAL**

**Reyolando M. L. R. F. Brasil**

Prof., PhD., Dept. of Structural and Foundations Engineering  
Polytechnic School, University of São Paulo  
São Paulo, SP, Brasil

Fax: +55-11-3818-5181

e-mail: [rmlrdfbr@usp.br](mailto:rmlrdfbr@usp.br)

**José M. Balthazar**

Prof., PhD., Dept. of Applied Mathematics  
State University of São Paulo  
Rio Claro, SP, Brasil

Fax: +55-19-534-8250

e-mail: [jmbaltha@rc.unesp.br](mailto:jmbaltha@rc.unesp.br)

**Flávio J. Garzeri**

Development Engineer, PhD., Noise and Vibration Laboratory  
General Motors of Brazil – Cruz Alta Proving Ground  
Indaiatuba, SP, Brasil

Fax: +55-19-3894-9170

e-mail: [flavio.garzeri@gm.com](mailto:flavio.garzeri@gm.com)

**Resumo.** *Apresenta-se um estudo experimental da dinâmica não linear de uma fundação de um motor elétrico não ideal. Considera-se uma estrutura hiperestática com duas colunas engastadas em suas bases e uma viga horizontal com um motor elétrico fixado no seu centro.*

*Dois fenômenos não lineares são estudados: a) saturação modal e transferência de energia entre modos de vibração; b) interação entre movimentos de amplitude da estrutura e o regime de rotação do motor, cuja potência é controlada.*

*As características dinâmicas da estrutura foram escolhidas de tal forma que proporcionam uma ressonância interna entre os modos de vibração lateral (anti-simétrico) e vertical (primeiro modo de vibração simétrico), com uma relação de um para dois entre as suas respectivas frequências naturais.*

*Observou-se o fenômeno da saturação modal, ou seja, quando a frequência de excitação proporcionada pelo motor aproxima-se da 2ª frequência natural do sistema, a amplitude de movimento se eleva até um certo nível e, então, se estabiliza; o excedente de energia entregue ao sistema é canalizado para o modo anti-simétrico, o qual apresenta um repentino aumento da sua amplitude.*

*Também foi possível observar o Efeito Sommerfeld: quando o motor acelera para alcançar condições próximas a uma das ressonâncias estruturais, uma considerável parcela da sua energia útil é consumida para gerar movimentos de grande amplitude da estrutura e não para aumentar a sua velocidade angular; caso a potência entregue ao motor seja elevada, ocorre um repentino acréscimo de sua rotação, atingindo valores consideravelmente acima do regime de ressonância. Vibrações estruturais estáveis entre esses dois regimes (imediatamente antes e, posteriormente, após a ressonância) não são possíveis.*

**Palavras-chave:** *motores não ideais; dinâmica não linear; análise experimental.*

## 1. INTRODUÇÃO

A análise experimental típica de um sistema estrutural pressupõe que as fontes de excitação sejam ideais ou, em outras palavras, não dependentes da resposta dinâmica desse sistema.

A realidade mostra que a outra categoria – sistemas com fontes de excitação não ideais – é a mais comum; no entanto, é pouco estudada.

Dentre os diversos tipos de fontes não ideais, destacam-se os motores elétricos. Quando esses são acoplados a sistemas estruturais que demandam potências mecânicas da mesma ordem daquelas que os motores são capazes de fornecer, ocorrem interessantes fenômenos não lineares, tais como: saturação modal, efeito Sommerfeld, interações entre fonte de excitação e estrutura. Há excelentes abordagens teóricas e experimentais sobre esses assuntos; as mais conhecidas, porém não tão atuais, são: Sommerfeld (1904), Balachandran (1991), Kononenko (1969).

A análise teórica de pórticos planos excitados por fontes não ideais tem sido objeto de estudo por parte de alguns pesquisadores; considerando-se apenas o último quinquênio, citam-se: Brasil&Mook (1994), Brasil&Balthazar (1997), Brasil et al (2000), Mazzilli (1995). Já com relação aos trabalhos experimentais envolvendo pórticos e motores elétricos, tem-se: Balthazar (1997), Garzeri (2001) e Nóbrega (1994).

A análise experimental não linear de um pórtico plano excitado por um motor elétrico é o assunto do presente trabalho. A estrutura analisada é composta por um pórtico metálico esbelto com um motor elétrico de corrente contínua (DC) fixado no centro do seu vão livre. As dimensões do pórtico são estabelecidas de tal forma que possibilitam uma relação de, aproximadamente, um para dois entre os dois primeiros modos de vibração (característica que permite a ocorrência do fenômeno de acoplamento de modos ou ressonância interna). Dois volantes de inércia são acoplados ao eixo do motor, a fim de atenuar as acelerações angulares bruscas características da máquina elétrica escolhida. As uniões entre a viga e as colunas são soldadas e o pórtico é fixado a uma base sísmica cuja massa é centenas de vezes maior do que a da estrutura.

Equipamentos atuais e técnicas experimentais recentes permitiram observar e registrar os fenômenos não-lineares previstos nos trabalhos teóricos (efeito Sommerfeld e saturação modal), incluindo transientes antes e após às suas manifestações.

## 2. ANÁLISE EXPERIMENTAL

A análise experimental foi conduzida em duas fases: a primeira, realizada com excitação externa à estrutura (*shaker* eletrodinâmico), para determinação e ajustes de parâmetros através de análise modal; a segunda, para obtenção de dados do comportamento dinâmico do conjunto motor/estrutura.

### 2.1. Análise Modal

O propósito da análise modal experimental do sistema estrutura/motor foi o de verificar e ajustar a relação de 2:1 entre as frequências dos dois primeiros modos de vibração, que é uma condição necessária para que o fenômeno da saturação modal ocorra. Esse ajuste foi realizado modificando-se a quantidade de massa do anel metálico que circunda o motor (Fig. (4)).

A análise também serviu para comprovar a qualidade da estrutura construída, pois verificou se os modos de vibração não contidos no plano do pórtico não eram próximos demais aos dois primeiros modos coplanares (os relacionados com as vibrações laterais e verticais do sistema); fato que impediria a utilização dos dados obtidos para verificar modelos matemáticos encontrados na literatura.

#### 2.1.1. Frequências e Modos Naturais

As figuras 1 a 3 mostram os três primeiros modos de vibração obtidos através do programa LMS; a tabela 1 apresenta as frequências dos modos naturais.



Figura 1: 1º modo de vibração da estrutura.

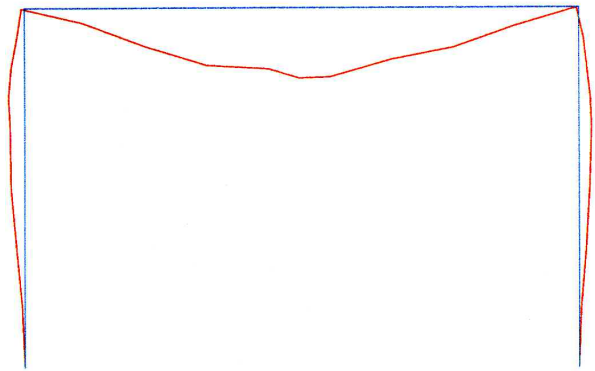


Figura 2: 2º modo de vibração da estrutura.

Observa-se que os modos determinados contêm deformações; isso se deve ao fato do programa de análise pressupor que a estrutura possui comportamento linear, ausente de fenômenos tais como, por exemplo, o da transferência de energia entre modos.

## 2.2. Sistema Estrutura/Motor

Com o sistema montado e fixo na mesma base sísmica utilizada nos ensaios de análise modal, efetuaram-se testes para a determinação do comportamento estrutural em dois casos: vibrações livres e excitação com frequências próximas a da sua segunda ressonância. No segundo, exploraram-se duas condições: passagem pela ressonância com rotação crescente e decrescente.

Com a finalidade de se validar modelos matemáticos elaborados pelos autores, as duas componentes da aceleração do ponto central da viga do pórtico (vertical e horizontal) foram gravadas em formato digital. A corrente elétrica da alimentação do motor e a sua rotação também foram armazenadas na maioria dos ensaios.

Em todos os ensaios realizados com excitação do motor, a tensão de alimentação foi o parâmetro de controle do sistema. As passagens pela 2ª ressonância da estrutura foram obtidas através de mudanças graduais dessa tensão, observando-se as limitações da fonte de potência (capacidade de regulação e estabilização) e a significância dessas mudanças perante ao ruído gerado pelo circuito elétrico do motor (fator limitante na escolha da diferença mínima entre dois níveis de tensão próximos).

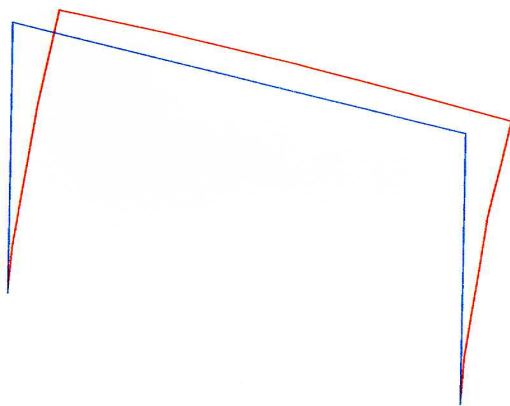


Figura 3: 3º modo de vibração. Análise com nível de excitação elevado.

Tabela 1: Frequências e amortecimentos modais da estrutura.

Modo	Frequência Hz	Amortecimento %
1	11.0	1.08
2	22.2	0.36
3	44.7	0.78
4	79.5	0.54

O critério adotado para a escolha do número e da magnitude máxima dos níveis de tensão foi subjetivo. Considerou-se a proximidade da frequência de excitação – dada pela rotação do motor - com a da ressonância estrutural – conhecida pela análise modal prévia - e o valor das componentes de aceleração do ponto central da viga. Dessa forma, menores diferenças de tensão foram adotadas quando a estrutura se aproximava da sua ressonância.

A escolha e a configuração do sistema de aquisição de dados, bem como determinados detalhes construtivos do sistema foram fundamentais para a observação dos fenômenos da saturação modal e do efeito Sommerfeld. Dada a importância desses parâmetros, eles são apresentados sucintamente a seguir.

### **2.2.1. Amortecimento Estrutural**

O amortecimento do sistema estrutura/motor foi reduzido a valores mínimos através dos seguintes princípios construtivos: uniões soldadas (entre colunas e viga, entre sapatas e colunas), sapatas e dispositivos de fixação à base sísmica superdimensionados (reduzindo, dessa forma, o deslocamento relativo entre a estrutura e a fundação), minimização de pontos de contato e/ou fixações entre cabos elétricos e a estrutura. Com relação a esse último, a Fig. (4) mostra as ligações elétricas aéreas, que evitam o atrito com a estrutura e aumentam a vida útil dos condutores, pois distribuem as tensões de deformação durante as oscilações.

### **2.2.2. Balanceamento dos Volantes de Inércia**

A excitação da estrutura é obtida através da força gerada pelos desbalanceamentos dos volantes de inércia durante a rotação do motor. Desbalanceamentos desiguais entre esses volantes produzem torques não contidos no plano do pórtico, excitando modos além dos considerados na análise. Dessa forma, torna-se fundamental balancear o conjunto motor/volantes de inércia, garantindo a existência majoritária do desbalanceamento estático – que causa apenas excitações no plano da estrutura - perante ao dinâmico – que produz torques não desejados.

O balanceamento dinâmico do conjunto motor/volantes de inércia foi realizado através do Método dos Coeficientes de Influência (Darlow, 1989), que é normalmente empregado nos balanceamentos de eixos flexíveis.

### **2.2.3. Instrumentação**

Foram quatro os tipos de grandezas físicas mensuradas durante os ensaios: aceleração, rotação, corrente e tensão elétricas. Cada uma delas exigiu sensores e dispositivos que capturaram e condicionaram os seus valores ao longo do tempo, permitindo, posteriormente, a armazenagem dos mesmos.

#### **2.2.3.1. Medição das Acelerações**

Dois acelerômetros piezelétricos com amplificadores incorporados – também conhecidos por acelerômetros tipo ICP - foram instalados no centro da viga do pórtico, imediatamente abaixo do motor elétrico (Fig. (4)). Esses sensores possibilitaram a medição das componentes horizontal e vertical da aceleração do ponto mencionado sem distorções e/ou ruídos de baixa frequência, que são normalmente observados nos acelerômetros piezelétricos convencionais, devido ao atrito interno das malhas dos seus cabos de alimentação (efeito triboelétrico).

Os filtros dos condicionadores (um para cada acelerômetro) foram ajustados para atenuar sinais não contidos na faixa de frequência compreendida entre 1 e 1000 Hz; tal procedimento possibilitou a otimização do ganho de entrada da placa de aquisição de dados, reduzindo componentes de aceleração com frequências fora da faixa de interesse (ruídos originados pelos rolamentos do motor, escovas etc).

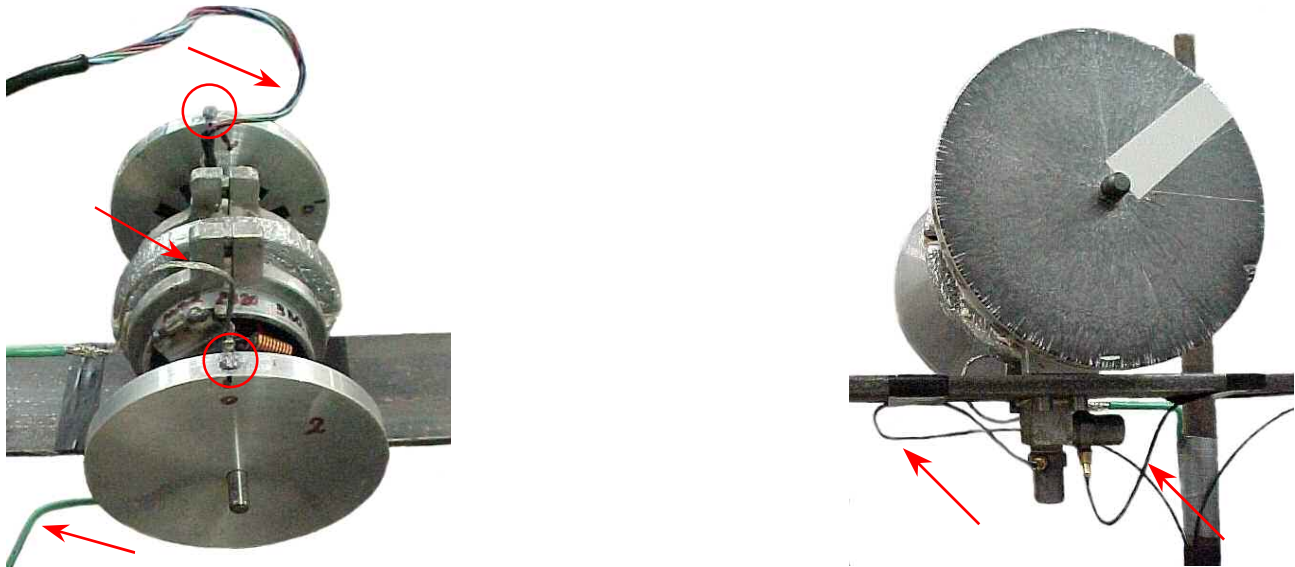


Figura 4: Ligações elétricas aéreas (minimização do atrito e aumento da vida útil dos condutores) Massas coladas nos volantes de inércia para excitar a estrutura.

Outro detalhe importante na medição das acelerações foi o emprego de sensores eletricamente isolados, a fim de se evitarem problemas causados por diferenças de potencial entre a estrutura – naturalmente aterrada através da base sísmica metálica - e o sistema de medição – conectado ao terra através do circuito elétrico do laboratório.

#### 2.2.3.2. Medição da Corrente Elétrica do Motor

Utilizou-se um *shunt* de baixa resistência e elevada capacidade de dissipação térmica para as medições da corrente alimentação do motor. Esse dispositivo, conectado em série com o circuito de alimentação, permitiu medir correntes elétricas intensas - através da simples leitura da diferença de potencial entre seus bornes de conexão - sem dissipar parcelas significativas de potência elétrica por efeito Joule.

Para atenuar os transientes de corrente de altas e médias frequências ocasionados pelo chaveamento das bobinas do motor e, dessa forma, tornar a medição de corrente mais precisa, conectou-se um banco de capacitores em paralelo com a saída da fonte de alimentação. A utilização de capacitores de diferentes tipos e valores – e, portanto, com diferentes velocidades de carga e descarga - foi de extrema importância para se elevar a eficiência de funcionamento desse banco.

#### 2.2.3.3. Medição da Tensão de Alimentação

Devido à limitação da tensão máxima suportada pela placa de aquisição de sinais, utilizou-se um divisor de tensão simples para mensurar as tensões de alimentação do motor. Esse divisor - composto por três resistores de precisão ligados em série entre si e, em paralelo com o circuito do motor - foi montado considerando-se a impedância elétrica da entrada da placa, a fim de minimizar o erro de medição.

#### 2.2.3.4. Medição da Rotação do Motor

Um sensor óptico conectado a uma das entradas da placa de aquisição de dados foi instalado no eixo do motor. Um programa elaborado na linguagem gráfica da National Instruments (Labview) possibilitou a interpretação dos pulso elétricos gerados por esse sensor (tipo onda quadrada com frequência igual a doze vezes a rotação do motor), fornecendo a rotação do motor.



Figura 5: Dispositivo para impor deslocamentos à estrutura ( no canto esquerdo, detalhe da fixação à coluna).

#### 2.2.4. Armazenagem dos Dados

A armazenagem da maioria dos dados foi realizada por meio de uma placa analógica/digital, fabricada pela National Instruments, acoplada ao barramento de um computador tipo PC. Devido às suas excelentes características técnicas - quatro canais de aquisição simultânea, taxa de aquisição mínima de 4000 amostras/seg, relação sinal ruído superior a 80dB e filtros *antialiasing* - não houve restrições quanto a gravação dos dados, excetuando-se o número limitado de canais.

Um programa simples, elaborado no ambiente gráfico Labview, controlou a placa de aquisição e armazenou os dados em disco rígido no formato binário.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Vibrações Livres

As vibrações livres do sistema motor/estrutura foram induzidas através de deslocamentos iniciais nas duas direções de interesse: horizontal e vertical. Um dispositivo específico foi concebido (figuras 5) para permitir o controle da magnitude do deslocamento imposto e do instante da sua liberação.

O deslocamento inicial da estrutura era obtido através do esticador de cabos mostrado na Fig. (5) e de um relógio comparador, que era removido antes do início das medições. A liberação da estrutura ocorria quando o condutor de cobre que conectava o esticador à estrutura se fundia ao ser percorrido por uma corrente elétrica de elevada intensidade, produzida por duas baterias chumbo-ácidas.

A Fig. (6) mostra os picos das acelerações horizontais e verticais do ponto central da viga após um deslocamento inicial horizontal de 4mm. Uma observação mais cuidadosa dessa figura revela uma oscilação da aceleração horizontal (mínimos relativos nos primeiros 20 segundos de vibração livre) no mesmo instante que a aceleração vertical atinge seus máximos valores.

Como os níveis de vibração eram suficientemente elevados mesmo após algumas dezenas de segundos do início do movimento – as magnitudes se situavam dentro dos limites mensuráveis pela instrumentação utilizada - foi possível calcular o espectro das componentes da aceleração do ponto central da viga com uma relativa precisão. A Fig. (7) apresenta o resultado desse cálculo, efetuado com os dados obtidos entre 1.02s e 19.50s, relativos ao início das vibrações livres com deslocamento inicial de 4mm. As amplitudes de vibração foram calculadas em dB, tornando possível uma comparação

qualitativa dos amortecimentos de cada uma das componentes. Também através desse cálculo, verificou-se a relação de 1:2 entre as duas primeiras frequências de ressonância do sistema motor/estrutura.

### Acerações Máximas e Mínimas do Ponto Central da Viga

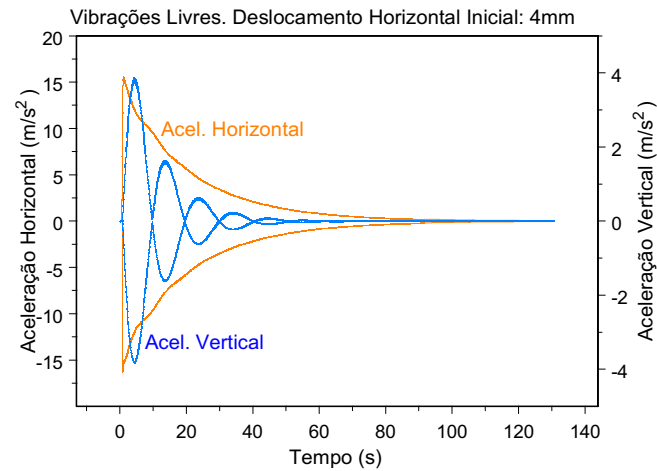


Figura 6: Vibrações Livres. Deslocamento horizontal inicial de 4mm.

### Espectro das Componentes da Aceleração do Ponto Central

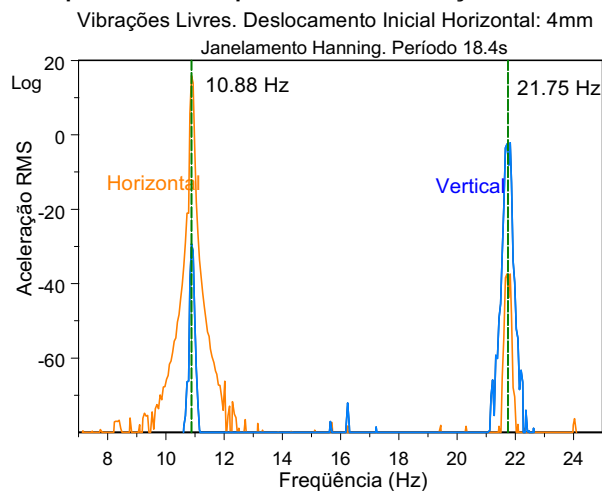


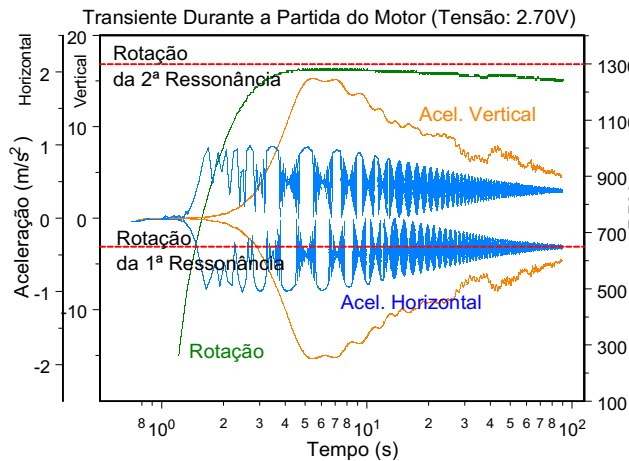
Figura 7: Espectro das componentes da aceleração do ponto central da viga durante vibrações livres. Deslocamento horizontal inicial de 4.0mm.

## 3.2. Vibrações Forçadas

Estando o motor parado e a estrutura em repouso, conectou-se repentinamente a fonte de alimentação ao circuito do motor, causando a sua rápida aceleração. Dependendo do nível da tensão aplicada, pôde-se observar três fenômenos distintos:

- estabilização da frequência de rotação do motor num valor inferior e bem diferente de uma das frequências naturais da estrutura;
- valor da frequência de rotação do motor variou em torno de uma das frequências naturais da estrutura;
- frequência de rotação do motor superou uma das duas frequências naturais consideradas da estrutura.

**Rotação do Motor e Acelerações do Ponto Central da Viga**



**Rotação do Motor e Acelerações do Ponto Central da Viga**

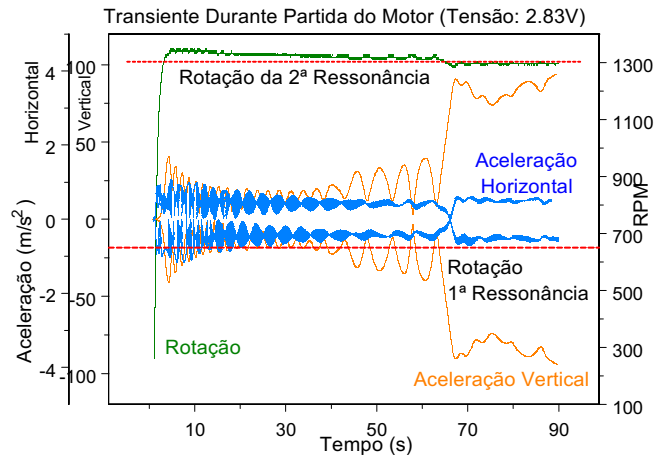


Figura 8: Comportamentos da rotação do motor e das acelerações máximas e mínimas do ponto central da viga durante uma partida com tensão de alimentação limitada.

A Fig. (8), lado esquerdo, contém os gráficos da rotação do motor e das componentes da aceleração do ponto central da viga, obtidas de um ensaio com resultados típicos do caso a. Deve-se notar que a tensão aplicada (2.70V) não foi suficientemente alta para permitir que o motor ultrapassasse a 2ª frequência de ressonância da estrutura; fato que já não ocorreu no ensaio posterior, cujos resultados, representativos do caso b, podem ser visualizados nos gráficos da Fig.(8), lado direito.

### 3.3. Vibrações Forçadas: Passagem pela Ressonância com Rotação Gradativamente Crescente

Estando a rotação do motor estabilizada entre a 1ª e 2ª frequências naturais do sistema, elevou-se gradativamente a tensão elétrica da fonte de alimentação, causando-se a aceleração do motor através da 2ª ressonância do conjunto motor/estrutura. Os acréscimos de tensão foram reduzidos nas proximidades da ressonância estrutural, a fim de se observar possíveis transientes.

A Fig. (9) mostra o momento onde ocorre o fenômeno da saturação modal – a componente de aceleração horizontal teve seu valor elevado bruscamente, enquanto a componente vertical permaneceu relativamente estável.

**Rotação do Motor e Acelerações do Ponto Central da Viga**

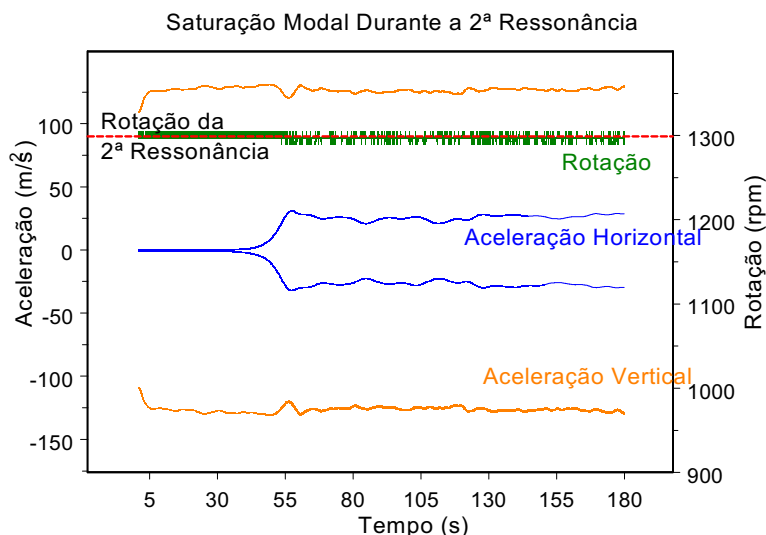
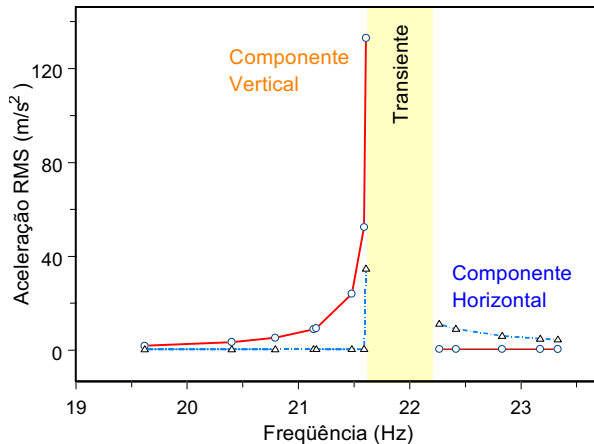


Figura 9: Saturação modal durante a 2ª ressonância. Tensão de alimentação alterada de 2.78V para 2.80V nos primeiros 2 segundos de ensaio.



### Acelerações do Ponto Central da Viga

Pontos Estáveis Durante Aceleração do Motor



### Potência Absorvida pelo Motor Elétrico

Ensaio com Tensão Crescente

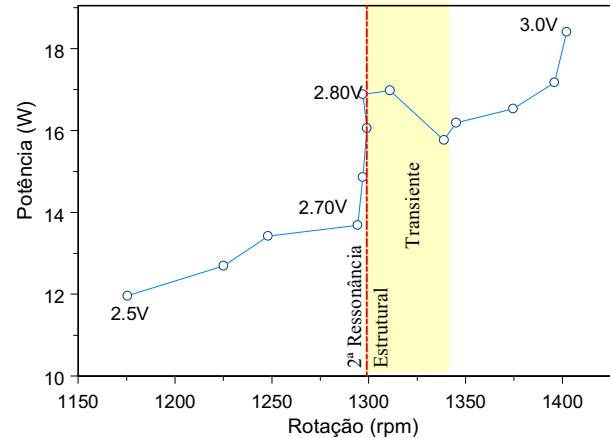


Figura 10: Acelerações máximas do ponto central da viga e aumento da potência consumida pelo motor durante passagem pela 2ª ressonância com rotação crescente.

A Fig. (10), lado esquerdo, mostra o comportamento das amplitudes das componentes da aceleração do ponto central da viga durante a passagem pela 2ª ressonância com rotação crescente. A região amarela indica uma faixa de instabilidade onde foram observadas acelerações bruscas da rotação do motor. Ao se elevar continuamente a tensão de alimentação do motor, estando esse com frequência de rotação próxima a da 2ª ressonância do sistema, provoca-se o aumento da sua rotação, até o momento que essa se estabiliza em torno de um determinado valor (igual a da 2ª frequência natural do sistema). A partir desse instante, sucessivos acréscimos da tensão somente elevam a potência elétrica absorvida pelo motor, que não é mais canalizada para alterar a sua rotação, mas sim para aumentar as amplitudes de vibração da estrutura. O processo possui um limite: quando a estrutura não é mais capaz de absorver a energia cedida pelo motor, a rotação desse dispara, atingindo, após um certo período, valores estáveis e proporcionais à tensão de alimentação. A potência elétrica absorvida pelo motor durante a passagem pela 2ª ressonância é apresentada na Fig. (10), lado direito.

## 4. COMENTÁRIOS

A análise experimental foi capaz de evidenciar os fenômenos não lineares previstos na literatura; em particular, ressaltam-se o da saturação modal e do efeito Sommerfeld. De um modo geral, o sucesso dessa análise se deve às escolhas criteriosas dos parâmetros estruturais (que permitiram que apenas dois modos naturais de vibração caracterizassem a resposta dinâmica do sistema, simplificando a análise) das características construtivas (que contribuíram para a atenuação do amortecimento estrutural que, caso fosse elevado, prejudicaria a observação dos fenômenos mencionados) e da instrumentação utilizada.

Embora não apresentados aqui, muitos outros fenômenos não lineares foram observados; citam-se as transferências de energia entre a fonte de excitação (motor elétrico) e a estrutura, os transientes durante a desaceleração do motor elétrico, a dependência dos fenômenos não lineares com a magnitude da excitação e as trocas de energia entre os dois primeiros modos de vibração quando a frequência de excitação era próxima a do primeiro modo natural.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pela FAPESP, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e pela General Motors do Brasil.

## 6. REFERÊNCIAS

- Balachandram, B. & Nayfeh, A. H., 1991, "Nonlinear motions of beam-mass structure". *Nonlinear Dynamics*, v.1:39-61.
- Balthazar, J., Mattos, M.C., Mook, D., Wieczorek, S., 1997, "An Experimental Study of Vibrations of Nonideal Systems", *Proceedings of DETEC'97*. ASME Design Engineering Technical Conferences. Sacramento, CA.
- Brasil, R. M. L. R. F. & D. T. Mook, 1994, "Vibrations of a portal frame excited by a non ideal motor", *Proceedings of the fifth conference on nonlinear vibrations, stability and dynamics of structures*. Blacksburg, VA, USA.
- Brasil, R.M.F.L. & Balthazar, J. M., 2000, "Nonlinear Oscillations of a Portal Frame Structure Excited by a Nonideal Motor", *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference – Control of Oscillations and Chaos*. St. Petersburg, Russia, v.2: 275-278.
- Brasil, R.M.L.F.,Palacios, J.L, Balthazar, J.M., 2000, "Some comments on Numerical analysis of Nonlinear Vibrations of a Civil Structure Induced by a Non-Ideal Source", *Proceedings of Computational Methods in Engineering - 21<sup>st</sup> Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Darlow, Mark S., 1989, "Balancing of High-Speed Machinery". Springer-Verlag, New York.
- Garzeri, F. J. , 2001, "Dinâmica não linear de um pórtico plano sob carregamento não ideal: análise numérica e experimental" - Tese de Doutorado, EPUSP, Brasil.
- Kononenko, V. O., 1969, "Vibrating Systems with a limited power supply". Iliffe Books, London.
- Mazzilli, C. E. N. & Brasil, R. M. L. R. F., 1995, "Effect of static loading on the nonlinear vibrations of a three time redundant portal frame: analytical and numerical studies". *Nonlinear Dynamics*, v.8: 347-366.
- Nóbrega, Petrus G. B., 1994, "Auto-sincronização de motores não-ideais apoiados em estrutura elásticas"- Dissertação de mestrado, EPUSP, Brasil.
- Sommerfeld, A., 1904, "Beitrag zur dynamischen ausbau der festigkeitslehre. *Physikalische Zeitschr*, v.4: 631-636.

### AN EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE NON LINEAR DYNAMICS OF A NON IDEAL MOTOR FOUNDATION

**Abstract.** *We present an experimental study of the non linear dynamics of a portal frame foundation for a non ideal motor. We consider a three-time redundant structure with two columns, clamped in their bases and a horizontal beam. An electrical unbalanced motor is mounted at mid span of the beam. Two non linear phenomena are studied: a) mode saturation and energy transference between modes; b) interaction between high amplitude motions of the structure and the rotation regime of a real limited power motor. The dynamic characteristics of the structure were chosen to have one-to-two internal resonance between the anti-symmetrical mode (sway motions) and the first symmetrical mode natural frequencies. As the excitation frequency reaches near resonance conditions with the 2<sup>nd</sup> natural frequency, the amplitude of this mode grows up to a certain level and then it saturates. The surplus energy pumped into the system is transferred to the sway mode, which experiences a sudden increase in its amplitude. Our experimental research detected the Sommerfeld Effect: as the motor accelerates to reach near resonant conditions, a considerable part of its output energy is consumed to generate large amplitude motions of the structure and not to increase its own angular speed. If some more power is available, jump phenomena may occur from near resonance to considerably higher regimes; no stable motions being possible between these two.*

**Keywords.** *non ideal motors; nonlinear dynamics; experimental analysis*