

COMPORTAMENTO DE VIGAS DE COMPÓSITOS GRANITO-EPÓXI SUBMETIDAS A VIBRAÇÕES MECÂNICAS

Antonio Piratelli-Filho, e-mail: pirateli@unb.br
Flamínio Levy-Neto, e-mail: flaminio@unb.br

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF

Resumo: *A capacidade de amortecimento de vibrações é uma das propriedades mais importantes dos compósitos granito-epóxi, superior até ao ferro fundido, tendo sido empregados na construção de bases de máquinas ferramentas e de instrumentos de precisão. Este trabalho apresenta um estudo do comportamento de compósitos particulados baseados em granito e epóxi submetidos a vibrações. Amostras do compósito foram preparadas em diferentes combinações de variáveis de processamento, como quantia de epóxi na mistura e distribuição do tamanho das partículas de granito. O comportamento do material, submetido à vibrações mecânicas, foi investigado através do método do decremento logarítmico, sendo que amostras, na forma de vigas prismáticas, foram excitadas no seu ponto médio, medindo-se o sinal de resposta em um ponto localizado na extremidade. Os resultados mostraram que as amostras do compósito com 80% em peso de granito e 20% em peso de epóxi apresentaram um amortecimento aproximadamente três vezes maior que o ferro fundido cinzento.*

Palavras-chave: *Compósitos particulados, granito-epóxi, vibrações*

1. INTRODUÇÃO

A precisão de máquinas ferramentas (MF) e Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC), usadas na indústria metal-mecânica, está diretamente relacionada aos materiais utilizados na sua construção. Uma das partes principais destes equipamentos é a sua base ou estrutura, sobre a qual todos os demais elementos construtivos estão apoiados. Os materiais especificados para sua fabricação devem apresentar como propriedades elevados valores de módulo de elasticidade, limite de escoamento, resistência mecânica, resistência à fadiga e tenacidade, por razões associadas às solicitações mecânicas usuais de máquinas. Somadas a estas, é desejável ainda um reduzido coeficiente de expansão térmica, reduzida condutividade térmica e elevada capacidade de amortecimento de vibrações, associadas às características específicas de serem máquinas que exigem precisão e assim devem sofrer a menor variação possível em resposta às solicitações do ambiente de operação.

Os materiais que atualmente são usados para atender esta demanda de propriedades são o ferro fundido e o granito. Entretanto, o ferro fundido possui um elevado valor de coeficiente de expansão térmica e de condutividade térmica, que proporcionam erros na fabricação devido às variações dimensionais causadas pela expansão e contração térmica e às distorções da estrutura induzidas pelos gradientes de temperatura no ambiente (Bruin, 1982). O granito, um cerâmico natural de custo reduzido, apresenta reduzida tenacidade e proporciona grande dificuldade no seu processamento devido à elevada dureza e à porosidade e trincas internas, limitando a fabricação de componentes que apresentem geometria complexa. Outra opção citada na literatura é o uso de estruturas de concreto, porém a reduzida estabilidade dimensional associada à absorção de água inviabiliza o seu emprego (Slocum, 1992).

Pesquisas tem apontado para o uso de materiais compósitos em substituição ao ferro fundido e ao granito na construção de bases de máquinas. Dentre estes estão os compósitos com matriz polimérica em resina epóxi com adição de grandes quantidades de granito na forma de partículas com granulometria reduzida, também chamados de granito-epóxi. Suas principais propriedades são a facilidade de moldagem de peças de geometria complexa e o amortecimento de vibrações, além de proporcionar um curto ciclo de processamento e elevado módulo de elasticidade e elevada resistência mecânica (Mason, 2000).

Fritz Studer foi um dos primeiros a desenvolver compósitos para esta finalidade e patenteou o material *Granitan*, baseado em granito particulado e resina epóxi. Studer relatou que, como a rigidez do material está relacionada ao módulo de elasticidade e à espessura das seções transversais, a espessura de peças de máquinas pode ser projetada para se adequar às condições de operação, aumentando ou diminuindo conforme a necessidade, mantendo a resistência e podendo até diminuir o peso do componente em relação à aplicação de ferro fundido (Mason, 2000).

Algumas empresas dos Estados Unidos são fornecedoras de peças fabricadas com compósitos granito-epóxi. A *ITW Philadelphia Resins Polymer Casting Division* relatou uma redução do tempo de produção das peças com estes materiais em relação ao uso de ferro fundido. O fabricante de máquinas CMS observou o aumento da vida das ferramentas de corte e a melhoria do acabamento superficial de peças produzidas em MF construídas com granito-epóxi. Fabricantes europeus como a empresa alemã *ElbShliff Werkzeugmaschinen* observaram vantagens no emprego deste material como a redução da vibração e da instabilidade dimensional em função da variação da temperatura. Fabricantes japoneses de máquinas também demonstraram interesse neste material. No Brasil, a empresa Romi produz uma linha de centros de torneamento com bases feitas com material compósito granito sintético (Mason, 2000).

Outros fabricantes destes compósitos, instalados nos Estados Unidos, são a *Anocast* e a *Precision Polymer Casting*. No Brasil ainda não existe nenhum fabricante deste material, embora existam no mercado máquinas-ferramentas construídas com base em granito sintético. Outras aplicações, além de máquinas ferramentas, são na fabricação de equipamentos ópticos, como microscópios ópticos, lupas, sistema de captura de imagens, lunetas, telescópios e instrumentos laser para aplicação médica e odontológica (Piratelli-Filho e Shimabukuro, 2008).

Algumas variáveis de processamento que influenciam nas propriedades destes compósitos são o tamanho, a homogeneidade e a pureza das partículas do cerâmico e a viscosidade do polímero. O empacotamento, a porosidade e a porcentagem de resina para proporcionar valores elevados das propriedades mecânicas dependem do tamanho e distribuição das partículas do pó cerâmico, bem como de sua pureza. A viscosidade da resina polimérica na etapa da mistura com o granito exerce influência na homogeneidade estrutural do compósito, sendo que é mais difícil a mistura das partículas de cerâmico a uma resina polimérica viscosa. Defeitos resultantes de aglomerados de partículas do cerâmico granito (“clusters”) podem resultar em tensões reduzidas de limite de resistência do compósito (Piratelli e Shimabukuro, 2008).

O amortecimento das vibrações a que um material é submetido ocorre pela dissipação da energia vibracional na sua estrutura interna, a qual é constantemente fornecida pelo movimento relativo das partes durante a operação de uma máquina ferramenta. Em geral, o amortecimento é essencial na medida em que ocorre o aumento das tensões produzidas pela fonte de vibração. A elevada capacidade de amortecimento dos polímeros torna estes materiais bastante úteis para o amortecimento de vibrações. O ferro fundido cinzento, largamente utilizado na base de máquinas-ferramenta, deve seu amortecimento relativamente elevado às lamelas de grafita observadas na sua microestrutura.

Outras pesquisas proporcionaram o desenvolvimento de compósitos particulados para aplicações onde o amortecimento de vibrações é necessário. Li et al. (1996) estudaram o amortecimento de vibrações em compósito baseado na resina epóxi. Este compósito foi chamado de concreto polimérico e desenvolvido usando como agregado e carga materiais como granito e mármore, além da adição da borracha acrilonitrila-butadieno. Ohama (1996) apresentou uma revisão sobre a evolução do desenvolvimento do concreto polimérico, fazendo uma classificação das principais aplicações. Fowler (1999) apresentou uma perspectiva para o emprego destes concretos poliméricos, destacando o potencial para aplicações em diferentes áreas.

Orak (2000) desenvolveu um compósito particulado com resina polimérica poliéster e cerâmico particulado quartzo chamado de concreto polimérico. O quartzo foi utilizado em faixas de granulometria variando entre 0,5 mm e 8 mm, sendo que as proporções de poliéster foram fixadas em 20% em peso. O amortecimento de vibrações foi determinado pelo método do decremento logarítmico, no qual deve ser feita a medição da taxa de decréscimo das oscilações livres para determinar a quantidade de amortecimento presente num sistema, sendo que quanto maior o amortecimento, maior a taxa de decréscimo.

Trabalhos realizados por pesquisadores Brasileiros investigaram o processamento dos compósitos granito-epóxi (Garcia e Purquério, 1999; Félix et al., 2001; Mendonça et al., 2003; Campos-Rubio et al., 2006; Panzera e Campos-Rubio, 2006; Piratelli-Filho e Shimabukuro, 2008). Resultados de resistência à compressão equivalentes aos de materiais comerciais similares produzidos no exterior foram obtidos, investigando variáveis de processamento como as proporções de partículas de granito com diferente granulometria e a massa de granito e epóxi. Entretanto, um estudo sobre o amortecimento de vibrações dos materiais desenvolvidos ainda não foi apresentado, ficando apenas disponíveis informações dos fornecedores de produtos comerciais.

O presente trabalho apresenta um estudo do comportamento de compósitos particulados baseados em granito e epóxi submetidos a vibrações. Foram obtidos corpos de prova (CP) de compósitos particulados granito-epóxi com diferentes granulometrias e porcentagem em peso de granito definidas como as variáveis do processo. A investigação das propriedades de amortecimento foi feita pelo método do decremento logarítmico, no qual as amostras do material foram excitadas em um ponto e o sinal de resposta foi medido na extremidade do CP.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O material compósito foi preparado com pó de granito adicionado a uma resina polimérica epóxi de cura a frio. O granito utilizado foi obtido na forma de dejetos da produção de artigos de construção civil, na forma de placas, que posteriormente foram moídas e peneiradas.

A resina epóxi utilizada foi a YD-128, que corresponde a um éter diglicidil de bisfenol A. O agente de cura foi o ANCAMIDE 805, uma mistura de aminas.

2.2. Preparação dos corpos de prova

Uma matriz de aço carbono 1020, tipo macho-fêmea, foi confeccionada para colocar a mistura de granito e epóxi. A matriz apresenta dimensões internas aproximadas 20 x 20 x 200 mm, de forma a obter corpos de prova com geometria de vigas prismáticas, com seção transversal quadrada e bordas moldadas. As superfícies internas do molde foram limpas e um desmoldante, Tec Glazer-N, foi aplicado, em duas camadas, para facilitar a retirada do corpo de prova após a cura da resina. A figura 1 mostra uma vista explodida de matriz construída, com a base e a tampa.

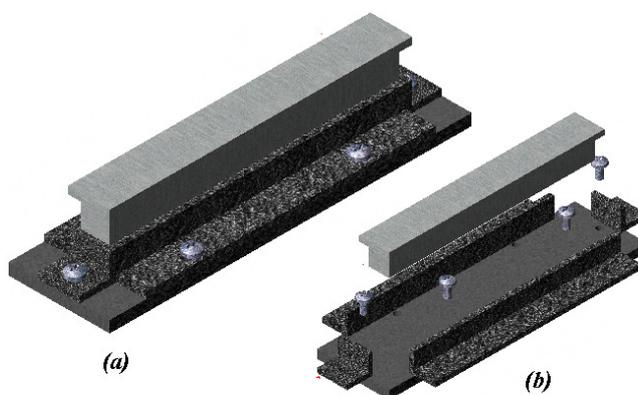


Figura 1. Vistas da matriz de processamento: a) fechada; b) aberta para desmolde e limpeza.

A preparação das amostras do compósito granito-epóxi seguiu as etapas mostradas na figura 2. As placas de granito foram fragmentadas em uma britadeira Mundibra e moídas em um moinho Siebetchnik, sendo que as partículas resultantes foram separadas em classes de granulometria usando peneiras de malhas 500 μm , 106 μm e 45 μm . A tabela 1 apresenta a classificação das partículas de granito em função dos tamanhos máximo e mínimo, obtidos de acordo com as malhas das peneiras usadas.

As composições de granito foram preparadas misturando pós com duas classes de granulometria diferente, na proporção de 50%-50% em peso de cada uma, determinadas numa balança digital com resolução 0,5 g. As classes 1 a 4 foram usadas para obter as três composições 12, 23 e 34, as quais incorporam os pares de classes de granulometria indicados.

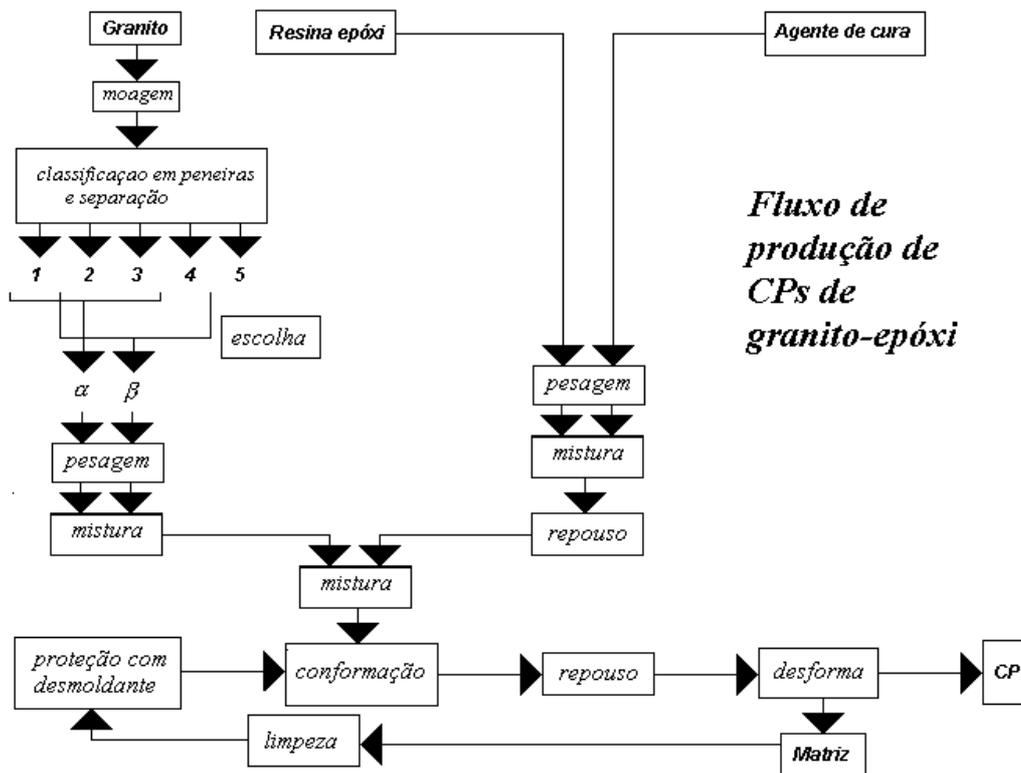


Figura 2. Fluxo de produção de CPs para ensaio de Amortecimento de vibrações.

Tabela 1. Tamanho das partículas de granito e classificação adotada para os CPs.

Tamanho mínimo > μm	classe	Tamanho máximo < μm
0	1	45
45	2	106
106	3	500
500	4	1000

A preparação das amostras foi feita primeiro adicionando a resina epóxi ao agente de cura, numa proporção de agente de cura de 60 pph (“*parts per hundred*”, ou partes por uma centena de partes de epóxi), proporcionando um tempo de gel de 1 hora e 5 minutos. Após a mistura, um tempo de repouso de 15 minutos foi estabelecido para volatilização de componentes do agente de cura que dificultam a molhabilidade do granito e que poderiam causar heterogeneidade na estrutura dos corpos de prova.

As composições de granito foram misturadas com a resina/agente de cura, sendo usadas duas proporções de epóxi/agente de cura (A e B), 15 % e 20 % em peso, o restante sendo a composição de granito. O material foi então misturado durante aproximadamente 20 minutos, para ocorrer o molhamento das partículas de granito pelo epóxi, homogeneizando a mistura e evitando a formação de agrupamentos (“clusters”) de partículas de granito.

A tabela 2 apresenta as variáveis de processamento adotadas, como a porcentagem de resina epóxi e pós de granito com diferentes granulometrias. As letras A e B representam as porcentagem de epóxi, sendo A=15% em peso e B= 20% em peso.

Tabela 2. Variáveis do processo.

Código do C.P.	% Epóxi	Composições de Granito	
		$\mu\text{m} < \alpha < \mu\text{m}$	$\mu\text{m} < \beta < \mu\text{m}$
A12	15	$0 < \alpha < 45$	$45 < \beta < 106$
A23	15	$45 < \alpha < 106$	$106 < \beta < 500$
A34	15	$106 < \alpha < 500$	$500 < \beta < 1000$
B12	20	$0 < \alpha < 45$	$45 < \beta < 106$
B23	20	$45 < \alpha < 106$	$106 < \beta < 500$
B34	20	$106 < \alpha < 500$	$500 < \beta < 1000$

A mistura foi introduzida na matriz, em pequenas quantidades, sendo estas pressionadas manualmente até preencher a cavidade. Na sequência, a matriz foi fechada com uma tampa para aplicar uma pressão durante o processo de cura do epóxi. Os corpos de prova foram retirados da matriz após 24 horas e somente foram disponibilizados para ensaio após 7 dias, tempo para completar a cura. No total, foram obtidos 8 Corpos de Prova.

Uma amostra de ferro fundido cinzento foi usinada, com a mesma geometria e dimensões das amostras de granito-epóxi, para efetuar os ensaios e possibilitar a comparação.

2.3. Ensaio de Amortecimento de Vibrações

O ensaio de amortecimento de vibrações foi realizado com os corpos de prova (CP) prismáticos de granito-epóxi. Cada corpo de prova foi suspenso, nas extremidades, por fios de fibras de algodão, para evitar movimentos de corpo rígido a propagação da vibração e geração de ruído na medição. Um acelerômetro Piezoelétrico marca Brüel & Kjaer, tipo 4344 com Frequência de Ressonância 70 kHz, foi posicionado na extremidade inferior do CP. O acelerômetro foi conectado a um pré-amplificador de carga marca Brüel & Kjaer tipo 2635, com faixa de Operação de 0,1 Hz a 200 kHz, o qual estava ligado a um Analisador Dinâmico marca HP, modelo 35665A, e a um microcomputador. Este aparato está mostrado na figura 3. Detalhes adicionais podem ser obtidos em Pardini et al. (2006).

Excitações na forma de leves batidas foram aplicadas no ponto médio dos CPs, efetuadas repetidas vezes em cada caso, usando um martelo com ponta de Nylon. O sinal resultante na extremidade, captado pelo acelerômetro, foi registrado e gravado em arquivo no microcomputador.

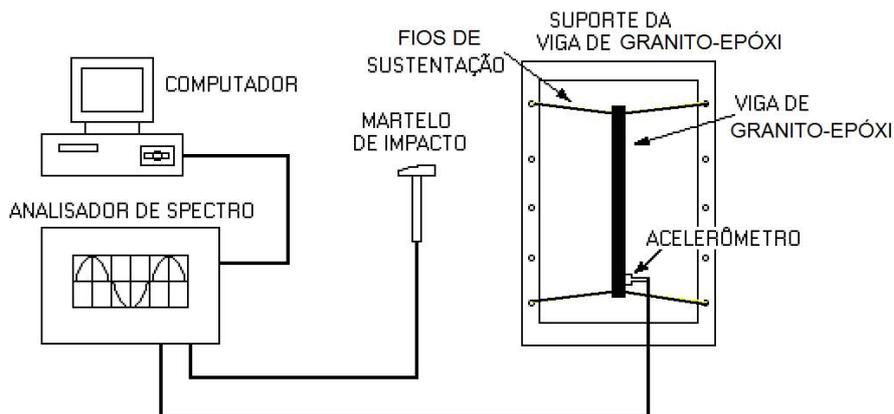


Figura 3. Montagem experimental para ensaio de amortecimento de vibrações (adaptado de Pardini et al., 2006).

Foi adotado o método do decremento logarítmico para analisar os resultados, sendo definido como um parâmetro equivalente ao logaritmo natural do quociente de quaisquer duas amplitudes consecutivas (Meirovitch, 2006). Neste método, a determinação das propriedades de amortecimento envolve a mensuração das frequências naturais experimentais de vibração livre do corpo de prova, através da análise via Transformada rápida de Fourier, segundo o algoritmo de Cooley- Tukey (Bendat, 2000). Meirovitch (2006) mostra que o decremento logarítmico, δ , pode ser determinado pela equação 1, na qual x_1 , x_2 são duas amplitudes consecutivas, x_0 é uma amplitude qualquer, sendo que após n ciclos tem-se a amplitude x_n , e ζ é o fator de amortecimento. Para o caso de amortecimento pequeno, δ pode ser expresso em termos da energia de vibração U e da energia ΔU dissipada em cada ciclo, de acordo com a equação 2.

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{1}{n} \ln \frac{x_0}{x_n} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 2\delta \quad (2)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Processamento das amostras e resultados dos ensaios

Os deslocamentos da extremidade inferior dos CPs ensaiados, apresentados na forma das amplitudes médias determinadas com um acelerômetro, estão mostrados na figura 4. Neste gráfico pode-se observar o comportamento diferenciado do ferro fundido cinzento em relação às amostras de granito-epóxi, apresentando uma queda na amplitude após 0,015 s e depois um aumento desta amplitude, sendo maior que os valores obtidos para as amostras de granito-epóxi, num tempo que 0,022 s. A curva da amostra A23 representa uma média dos três CPs ensaiados com a mesma composição. Assim, pode ser observado que apenas para os CPs de granito-epóxi é que as quedas nas amplitudes médias são monotônicas.

3.2. Análises e discussões

3.2.1. Análise espectral

Inicialmente, para cada um dos corpos de prova, foi feita a análise espectral dos pontos captados (sinal no tempo), via Transformada Rápida de Fourier, FFT, com o intuito de identificar os espectros de frequências envolvidos nos ensaios. A figura 5 mostra o sinal no tempo de um dos ensaios do CP de Ferro fundido. Tomando-se apenas o ponto máximo de cada oscilação e calculando a média dos ensaios de um mesmo CP, obtém-se a curva que aparece na figura 4, cujo respectivo espectro de frequências está mostrado na figura 6. Nesta figura pode-se observar que, apesar do ruído de zero a 4 kHz, as frequências de maior energia aparecem em torno de aproximadamente 2 kHz.

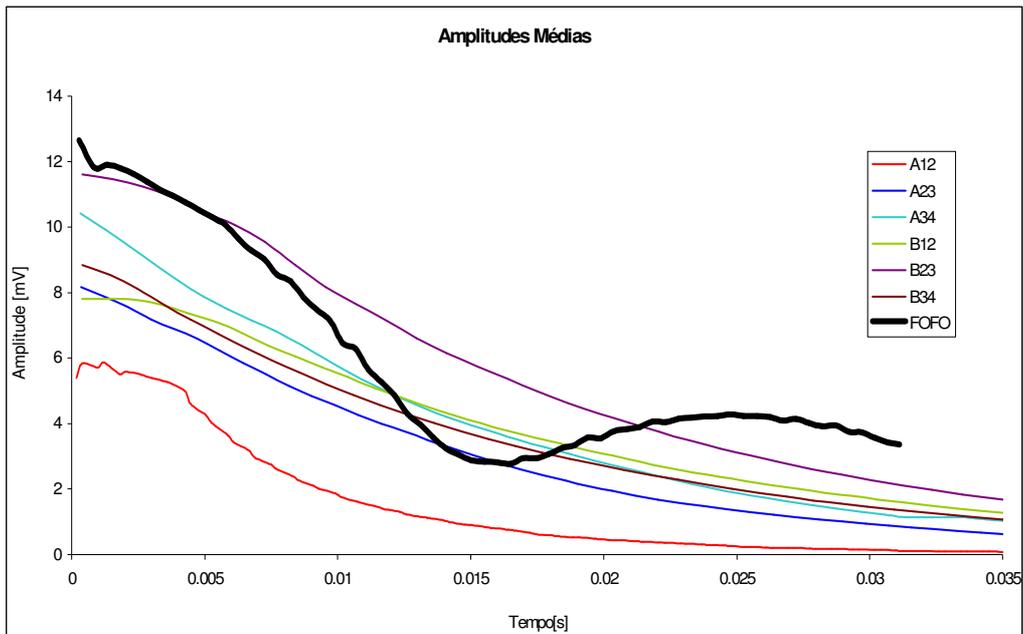


Figura 4. Amplitudes médias em função do tempo para cada corpo de prova.

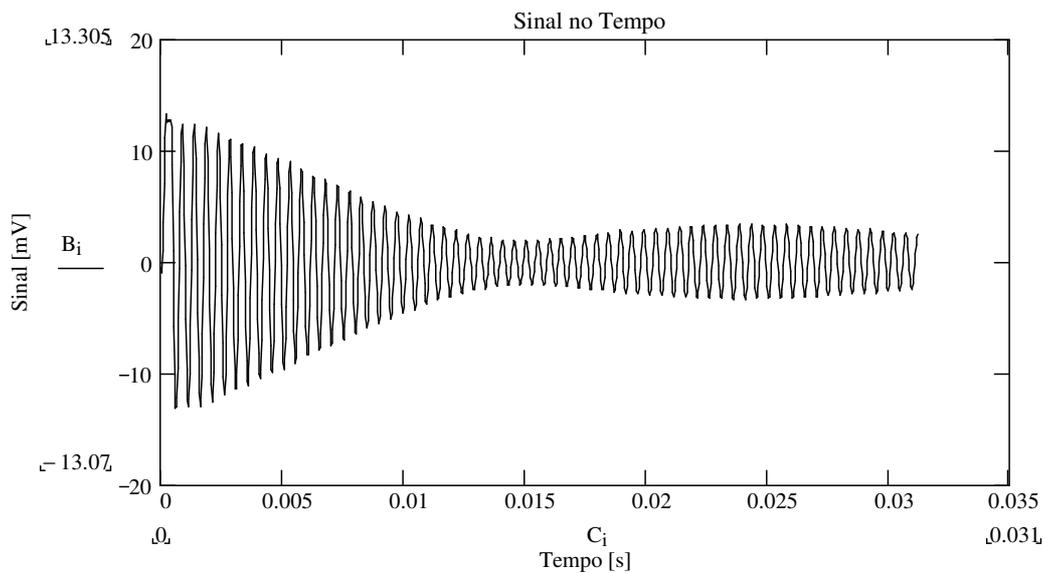


Figura 5. Sinal no Tempo de ensaio em CP de Ferro fundido.

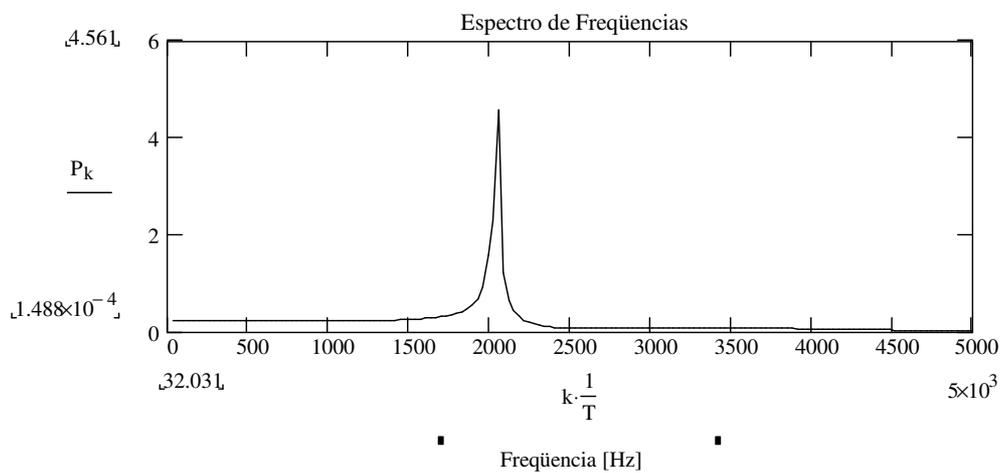


Figura 6. Espectro de frequências dos ensaios do CP de Ferro fundido.

As figuras 7 e 8 são, respectivamente, o sinal no tempo e o espectro de frequências para um ensaio do corpo de prova B12. Pode-se notar, comparando os gráficos das figuras 6 e 8, que a frequência natural de vibração do granito-epóxi (i.e. pico de maior energia) é aproximadamente a metade daquela apresentada pelo ferro fundido. No caso do ferro fundido, o comportamento apresentado pelo sinal no tempo, mostrado nas figuras 4 e 5, deve-se a duas ou mais componentes de frequência com valores muito próximos, provavelmente gerando este comportamento devido à ocorrência de batimento. Na figura 6, pode ser observado que o pico de frequência apresenta uma base relativamente mais larga, o que indica não há uma frequência pura, mas um ruído de banda estreita. Na figura 8 pode ser verificado que ocorre uma pequena elevação por volta de 3,4 kHz, o que pode indicar um segundo modo de vibração.

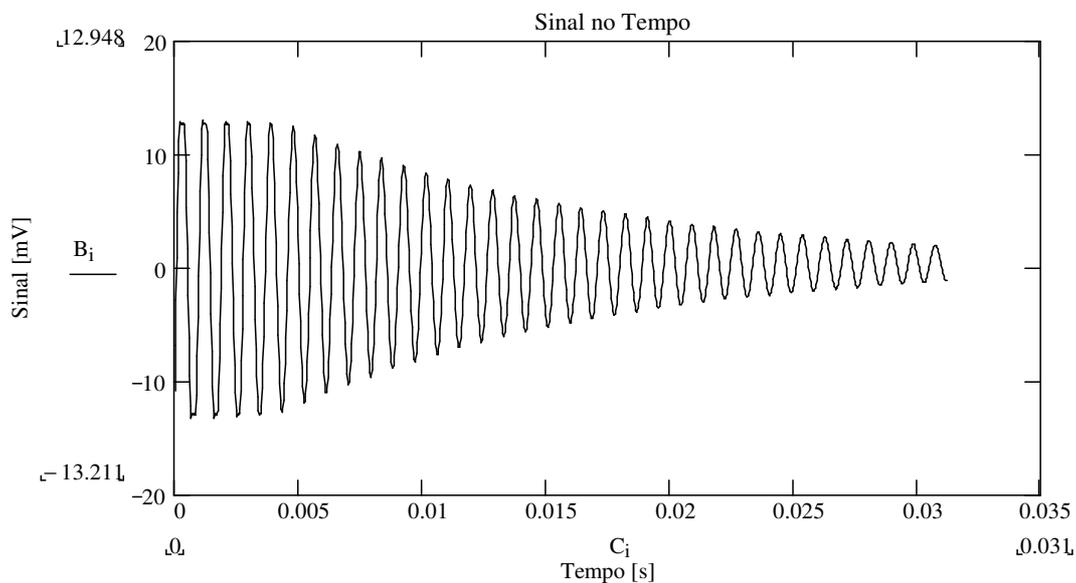


Figura 7. Sinal no Tempo do ensaio do CP B12.

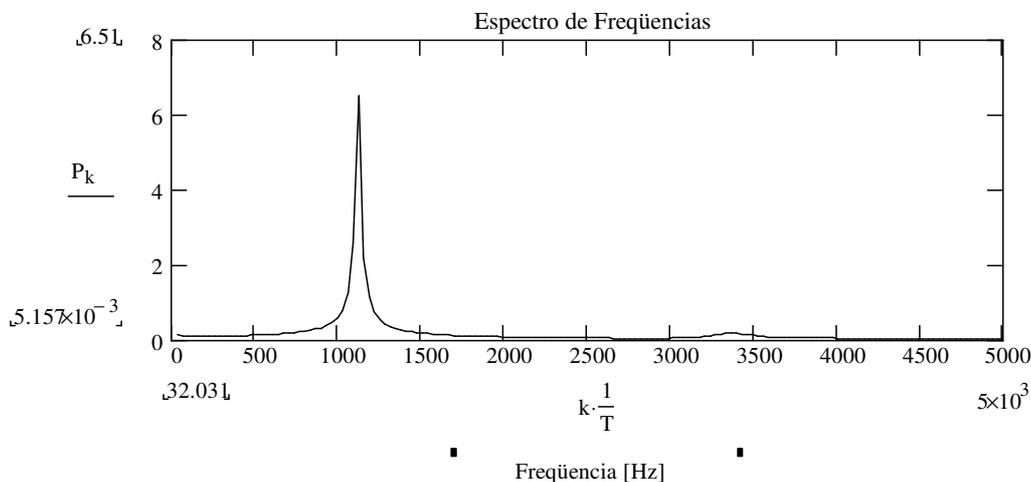


Figura 8 - Espectro de frequências do ensaio do CP B12.

3.2.2. Análise do Decremento Logarítmico

A tabela 3 apresenta os valores calculados do Decremento Logarítmico. Um valor médio de decremento logarítmico de 0,061 foi obtido para todas as amostras de granito-epóxi (média geral), com desvio padrão de 0,012, resultando em um coeficiente de variação de quase 20%. A dispersão dos resultados obtidos pode ser observada na figura 9. Com relação às composições A e B, foi observada uma pequena variação do decremento logarítmico médio em função da porcentagem de resina epóxi, de 0,062 (A, 15% em peso de epóxi) para 0,060 (B, 20% em peso de epóxi), com respectivos desvios padrões de 0,014 e 0,007. Considerando que a dispersão dos valores de decremento foi grande, comparativa à variação das médias, pode-se dizer que a proporção de epóxi não resultou em mudança significativa quanto ao amortecimento de vibrações, na faixa de valores estudada. Quanto ao efeito da mistura de pó de granito, o

desvio padrão oscilou entre 0,002 e 0,026, sendo esta última observada para pó de granulometria mais fina e porcentagem menor de resina epóxi. Com isto, não foi possível concluir sobre o efeito médio da mistura e do tamanho das partículas de granito no amortecimento de vibrações.

Tabela 3. Decremento Logarítmico Médio dos Corpos de Prova de Granito-Epóxi.

Variáveis		Resultados				
Epóxi (A)	Granito (B)	Ensaio	CP	Decrem. Logarítmico	Fator Amortecimento	
(% em peso)	Granulometria	n.o	n.o	médio (δ)	médio (ζ) %	
15%	12	1	1	0,091	1,45	
		2		0,026	0,41	
		3		0,052	0,83	
		4		0,030	0,48	
		5		0,058	0,92	
	23	1	1	1	0,061	0,97
			2		0,056	0,89
			3		0,060	0,95
			4		0,060	0,95
			5		0,064	1,02
		2	1	2	0,070	1,11
			2		0,077	1,23
			3		0,074	1,18
			4		0,080	1,27
			5		0,078	1,24
		3	1	3	0,060	0,95
			2		0,064	1,02
			3		0,062	0,99
			4		0,061	0,97
			5		0,057	0,91
34	1	1	0,056	0,89		
	2		0,070	1,11		
	3		0,060	0,95		
	4		0,066	1,05		
	5		0,058	0,92		
20%	12	1	1	0,057	0,91	
		2		0,054	0,86	
		3		0,055	0,88	
		4		0,051	0,81	
		5		0,053	0,84	
	23	1	1	0,066	1,05	
		2		0,067	1,07	
		3		0,063	1,00	
		4		0,060	0,95	
		5		0,066	1,05	
	34	1	1	0,062	0,99	
		2		0,056	0,89	
		3		0,057	0,91	
		4		0,059	0,94	
		5		0,078	1,24	

O decremento logarítmico do ferro fundido cinzento foi obtido traçando uma curva exponencial sobre os picos do gráfico, obtendo-se um valor representativo do amortecimento equivalente a 0,021. Este valor foi bem inferior a todos os valores do granito-epóxi obtidos, cuja média geral foi 0,061.

Comparando os valores dos compósitos granito-epóxi desenvolvidos neste trabalho com os da literatura, os valores obtidos foram superiores aos apresentados por Orak (2000), os quais foram entre 0,010 e 0,020, resultado de um processamento com 20% em peso de resina poliéster e 80% em peso de quartzo, com granulometria entre 0,5 e 8 mm. Orak reportou ainda que um amortecimento crítico de 0,418 % para o ferro fundido cinzento, o que equivale a um decremento logarítmico de 0,026.

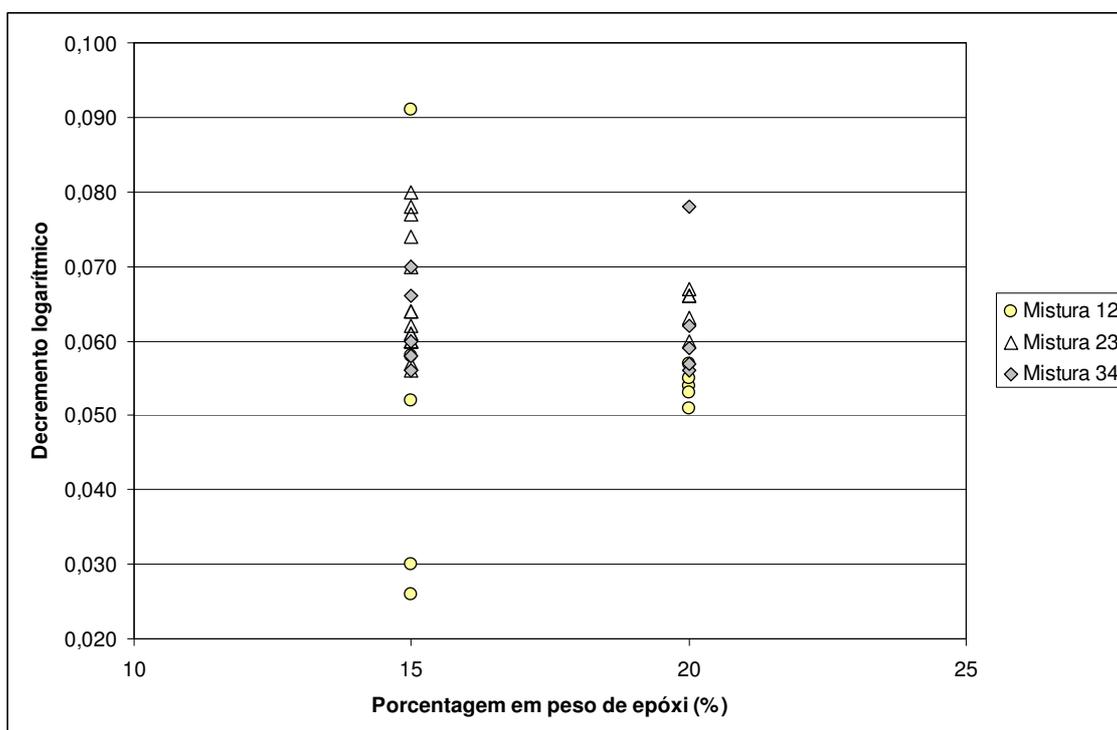


Figura 9. Decremento logarítmico das amostras de granito-epóxi.

4. CONCLUSÕES

Os valores de decremento logarítmico das amostras de granito-epóxi estudadas foram superiores aos do ferro fundido, numa proporção aproximadamente três vezes maior. Isto indica que o granito-epóxi proporciona um amortecimento de vibrações praticamente três vezes maior que o ferro fundido cinzento, para o mesmo volume de material. A quantidade de epóxi influenciou apenas a dispersão dos valores medidos, sendo que as amostras A, com 15% em peso, proporcionaram um desvio padrão do decremento logarítmico de 0,014, maior que das amostras B, com 20% em peso, equivalente a 0,007. Quanto à granulometria das partículas de granito, não foi possível verificar se existe diferença quanto às médias e aos desvios padrões experimentais, não podendo-se afirmar sobre seu efeito.

Os resultados encontrados foram comparados com valores observados na literatura existente, com respeito ao amortecimento de vibrações de compósitos particulados para aplicações em bases de máquinas. Os valores do decremento logarítmico do granito-epóxi obtidos nos ensaios foram maiores que os respectivos valores para compósitos com 20% em peso de poliéster e sílica com granulometria entre 0,5 e 8 mm. Via de regra, as resinas epóxi são mais caras que as resinas poliéster, mas, no que concerne ao amortecimento de vibrações, os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o epóxi deve ser uma matriz superior para este propósito.

Trabalhos futuros podem ser realizados utilizando ferramentas estatísticas como planejamentos hierárquicos, para efetuar a comparação dos valores obtidos de decremento logarítmico em função das variáveis investigadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bendat, J. S., Piersol, A. G., 2000, "Random data: analysis and measurement procedures", 3rd Ed., John Willey & Sons, Los Angeles.
- Bruin, W.D., 1982, "Dimensional stability of materials for metrological and structural applications", Annals of the CIRP, Vol. 31, n.o 2, pp. 553-560.
- Campos-Rubio, J., Panzera, T.H., Silva, D.M., Vilela, J.J., 2006, "Como obter o melhor compósito para construção de estruturas de máquinas de pequeno porte", Plástico Industrial, Vol. 9, pp. 104-115.
- Felix, et al, 2001, "Production of complex parts by low-pressure injection molding of granite powders. Part 1 – preparation of feedstock, injection and debinding", Anais do 1^o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF, Curitiba, PR, Brasil, 2 a 4 de abril.

- Fowler, D.W., 1999, "Polymers in concrete: a vision for the 21st century", Cement & Concrete Composites, pp. 449-452.
- Garcia, L. G., Purquério, B. M., 1999, "Tecnologia de projeto de cabeçote hidrostático de ultraprecisão utilizando cerâmica de alumina e granito sintético", Anais do XV congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM.
- Li, S., Hu, J., Song, F., Wang, X., 1996, "Influence of interface modification and phase separation on damping properties of epoxy concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 18, pp. 445-453.
- Mason, F., 2000, "Cast polymer machine bases", Machine Shop Guide Magazine, Vol. 5, n.o 6.
- Meirovitch, L., 2006, "Elements of Vibration Analysis", Tata McGraw-Hill Int., Sri Lanka.
- Mendonça, R.M.L., Piratelli-Filho, A., Levy-Neto, F., 2003, "Compósitos Particulados para aplicações em engenharia de precisão: obtenção e propriedades mecânicas", Anais do 2º COBEF, Uberlândia, MG, Brasil, 18 a 21 de maio.
- Ohama, Y., 1997, "Recent progress in concrete-polymer composites", Advanced Cement Based Materials, Vol. 5, pp. 31-40.
- Orak, S., 2000, "Investigation of vibration damping on polymer concrete with polyester resin", Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 171-174.
- Panzer, T.H., Campos-Rubio, J., 2006, "Development of a polymeric particulate composite for precision engineering applications", CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 35, pp. 12.
- Pardini, L. C., Levy Neto, F., Ferreira, J. L. A., 2006, "Damping Behaviour of Synthetic Graphite Beams", Materials Research, Vol. 9, pp.193-198.
- Piratelli-Filho, A., Shimabukuro, F., 2008, "Characterization of compression strength of granite-epoxy composites using design of experiments", Materials Research, Vol. 11, n.o 4, pp. 399-404.
- Ribeiro, F.M.M., Purquério, B.M. et alii, 1999, "Granito sintético para estruturas de equipamentos de precisão de pequeno porte – metodologia de projeto", Anais de 15º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 22 a 26 de novembro.
- Slocum, A.H., 1992, "Precision Machine Design", Prentice Hall, Inc, New Jersey, 750 p.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

BEHAVIOR OF COMPOSITE GRANITE-EPOXY BARS SUBJECTED TO MECHANICAL VIBRATIONS

Antonio Piratelli-Filho, e-mail: pirateli@unb.br

Flamínio Levy-Neto, e-mail: flaminio@unb.br

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF

Abstract. *The capacity to damp mechanical vibrations is one of the most important properties of granite-epoxy composites, even superior of cast iron. And, for this reason, these materials are been adopted in the manufacturing of tool machine foundations and precision instruments. This work presents a study concerned with the behavior of particulate composites, based on granite powder and epoxy and subjected to vibrations. Composite samples were prepared with different combinations of processing variables, like the weight fraction of epoxy in the mixture and size distributions of granite particles. The behavior of the material, subjected to mechanical vibrations, was investigated adopting the logarithmic decrement method. Samples, in the form of prismatic beams, were exited in the middle point and the output signal was measured in a point located at the extremity. The obtained results showed that composite specimens, with weight fractions of about 80% of granite and 20% of epoxy, presented damping properties approximately three times greater than gray cast iron.*

Keywords: *Particulate composites, granite-epoxy, vibrations.*