

Aplicação De Amortecedores Para Controle De Vibrações Em Estruturas Metálicas

Andressa B. Miranda¹, Renato A. Maia¹

¹Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Euro Americano
Av. Das Castanheiras, 72025-065, Brasília - DF, Brasil
andressasd2008@gmail.com; renatomaia06@gmail.com

Resumo. Diante do cenário atual da construção civil composto cada vez mais por estruturas esbeltas e susceptíveis a choques e vibrações, têm sido desenvolvidas alternativas de amortecimento e controle das vibrações excessivas. No presente trabalho, o dispositivo de controle a ser aplicado trata-se do AMS (Amortecedor de Massa Sintonizada). Para se alcançar a efetividade do sistema de controle, é necessário que os parâmetros do dispositivo (massa, rigidez e amortecimento) estejam adequados aos procedimentos ótimos de projeto expostos pelo pesquisador Den Hartog [1]. Neste artigo será apresentada a simulação da aplicação do dispositivo de acordo com os parâmetros ótimos de projeto utilizando o *software* de análise estrutural SAP 2000, pelo qual obtiveram-se as respectivas respostas dinâmicas para a modelagem numérica realizada, onde foi feito um comparativo entre os resultados obtidos.

Palavras-chave: Vibrações, AMS, Controle Passivo, Amortecedores.

1 Introdução

Não é de hoje que estruturas sofrem com vários fenômenos naturais do cotidiano. Um deles é acerca das vibrações proporcionadas por fatores como o vento, terremotos, ou cargas de uso por exemplo. A maneira como a estrutura se comporta e reage diante de tais vibrações pode ser bastante nociva.

Os sistemas de controle têm sido uma das principais alternativas para a questão gerada em torno de vibrações em estruturas, caracterizadas por suas propriedades dinâmicas (frequências naturais e deslocamentos). Dentre os mais utilizados destacam-se os Amortecedores de Massa Sintonizada (AMS), os quais, segundo Paredes [2], são aparelhos constituídos por uma massa, ligada à estrutura por meio de uma mola e de um amortecedor.

Neste trabalho será realizada a simulação da aplicação do sistema em um modelo estrutural de uma viga metálica biapoiada na qual será feita a aplicação do AMS através uma análise de desempenho diante dos diferentes valores de massa assumidas pelo dispositivo. Espera-se que tais amortecedores desempenhem o papel de absorver e redistribuir da melhor forma possível as vibrações excessivas, obtendo redução nos parâmetros dinâmicos da estrutura (frequências naturais e deslocamentos).

2 Fundamentação Teórica

Entre as principais preocupações acerca da dinâmica das estruturas estão as ocorrências de vibrações excessivas. A dinâmica estrutural trata-se da análise feita acerca das respostas da estrutura e seu comportamento diante das solicitações.

Segundo Meireles [3], por meio de análises e simulações, pode-se determinar se uma estrutura em análise responde aos seus requisitos funcionais através da sua resposta ao carregamento dinâmico aplicado. Deste modo, pode ser determinado qual o parâmetro estrutural que mais afeta a resposta dinâmica da estrutura e assim, a estrutura pode ser funcionalmente modificada e melhorada.

Para Bolina et al. [4], as frequências naturais são parâmetros que indicam a taxa de oscilação livre da

estrutura, ou seja, representa o quanto a estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela. Uma estrutura possui diversas frequências naturais, pois ela pode vibrar livremente em diversas direções. Essa frequência é função direta da rigidez, e inversa da massa da estrutura.

De acordo com Silva [5], quando uma solicitação é oscilatória, o sistema vibra na frequência da excitação. Se essa frequência coincide com uma das frequências naturais do sistema, forma-se um estado de ressonância, podendo resultar em amplas oscilações e deslocamentos e causar o colapso de estruturas.

Pensando em tal problemática, percebeu-se que era necessário algo que ajudasse, em particular no estudo de vibrações, e auxiliasse no controle dos efeitos causados na estrutura decorrentes das variadas formas de comportamento que ela pode ter diante das solicitações externas ou internas. O controle estrutural é uma alternativa da dinâmica estrutural e costuma ser comumente classificado em controle passivo e controle ativo, havendo necessidade de força de energia externa ou não.

Dentre os dispositivos mais utilizados de controle passivo, onde não há necessidade força de energia externa, destaca-se o AMS. O AMS é um mecanismo constituído basicamente por uma massa, mola e amortecedor, como ilustrado na Figura 1.

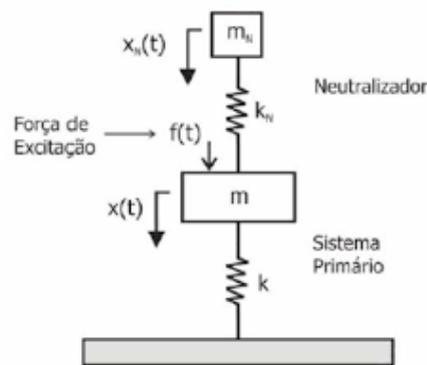


Figura 1. Exemplo esquemático do AMS

Inicialmente o sistema neutralizador (AMS) é conectado à estrutura (sistema primário) com a finalidade de reduzir a dissipação de energia aos membros da estrutura que estão sob a ação de uma determinada força de excitação $f(t)$. Esta redução de energia, segundo Valencia [6], se consegue quando a frequência do amortecedor de massa é sintonizada a uma frequência estrutural particular, e, quando essa frequência é excitada, o amortecedor vai vibrar fora de fase em relação à estrutura e essa quantidade de energia vibratória é transferida ao AMS. Para Lee et al. [7], se os parâmetros dos AMS's obtidos diferem dos valores ótimos ou se existe erro na identificação do valor da frequência natural da estrutura principal, um efeito de não sintonia ocorre e a efetividade do controle fica comprometida.

Segundo Meireles [3], a resposta de um sistema às solicitações a que está sujeito depende das suas características, e é regida pelas equações diferenciais de movimento que descrevem o seu equilíbrio dinâmico.

A partir destes conceitos, Hartog [1] estabeleceu a razão ótima de amortecimento ξ ótima em função de μ dada pela seguinte equação, onde μ é a razão entre as massas do AMS e do sistema principal (m/M).

$$\xi_{ótima} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)^3}} \quad (1)$$

3 Metodologia

Para a desenvoltura do trabalho e obtenção de resultados acerca da problematização apresentada, utilizou-se uma metodologia que consiste primeiramente em realizar a modelagem da estrutura no *software* de análise estrutural SAP 2000 e coletar os dados correspondentes aos modos de vibração livre da estrutura. O modelo estrutural em questão trata-se de uma viga metálica biapoiada, onde será adotado o perfil W610x101 com um vão de 6m.

Como mostra a Figura 2, o dispositivo AMS será instalado no nó central da viga estando a 3 metros de cada extremidade com o objetivo de diminuir as respostas dinâmicas, reduzindo assim, as vibrações e deslocamentos no elemento estrutural, como mostra a Figura 2. Os parâmetros ótimos do amortecedor serão definidos a partir das expressões propostas por Hartog [1].

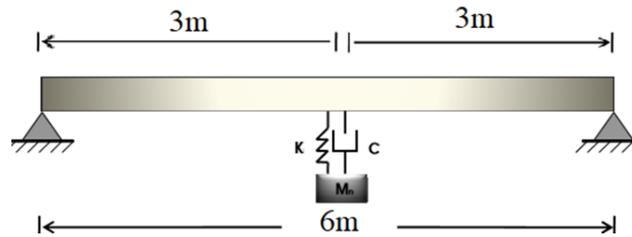


Figura 2. Posição do dispositivo AMS na viga.

Após realizada a modelagem, coleta de dados e aplicação segundo as expressões ótimas de Den Hartog, será realizada uma comparação entre os modelos sem aplicação do dispositivo e com o dispositivo aplicado, a fim de verificar a redução nas respostas dinâmicas da viga e deslocamentos.

Na modelagem numérica do elemento com o dispositivo instalado, para os parâmetros ótimos de projeto do sistema de controle, tais como rigidez e amortecimento, serão adotados os valores calculados por Valencia [6] em um estudo comparativo similar segundo as expressões estabelecidas pelo pesquisador Den Hartog [1]. Desse modo, tem-se como rigidez $k = 2313,5 \text{ N/m}$ e coeficiente de amortecimento $c = 8,36 \text{ Ns/m}$.

A massa do dispositivo será determinada a partir da razão entre massas do amortecedor e sistema principal, μ , admitindo-se massa total da viga como $M = 606 \text{ kg}$. Conforme estudo desenvolvido por Chen e Huang [8], para o AMS ter aplicabilidade e funcionalidade esta razão deve estar em um intervalo de valores entre 0,01 a 0,15, ou seja, na ordem de 1% a 15%. Segundo Rossato, Miguel e Miguel [9], não é interessante que a relação de massas (μ) seja um valor muito alto, pois isso iria sobrecarregar a estrutura, aumentando seu custo e dificultando a implantação do AMS.

4 Resultados

Na presente seção estarão apresentados os resultados obtidos das análises das modelagens, bem como também os fatores que influenciaram nas respostas dinâmicas da estrutura. Além disso, será verificada a eficácia do dispositivo quanto ao seu objetivo principal como um sistema de controle de vibrações. Os resultados apresentados se tratam de um modelo estrutural em vibração livre, ou seja, onde não há influência de carregamentos externos, onde os deslocamentos e frequências naturais são provenientes apenas do peso próprio do elemento.

A partir da metodologia adotada, foi realizada a modelagem do sistema principal e 3 análises diferentes com aplicação do dispositivo de amortecimento para o mesmo modelo variando o valor de μ de 5% a 15%, dentro do intervalo estabelecido por Chen e Huang [8]. A viga foi dividida em 32 elementos finitos e 33 nós, sendo o nó de número 17 o central. Cada elemento finito passa então a possuir 187,5 mm de comprimento.

4.1 Análise Modal Sem Dispositivo AMS

As respostas dinâmicas foram obtidas partindo do primeiro modo de vibração encontrado que apresentou deslocamento apenas no sentido Z, pois é a direção com os deslocamentos predominantes quando comparada aos outros sentidos. A direção considerada pode ser observada na Figura 3 onde mostra uma representação tridimensional do modelo a ser analisado, e a frequência natural e deslocamento resultante da análise estão apresentados respectivamente na Tabela 1 e Figuras 4, 5 e 6.

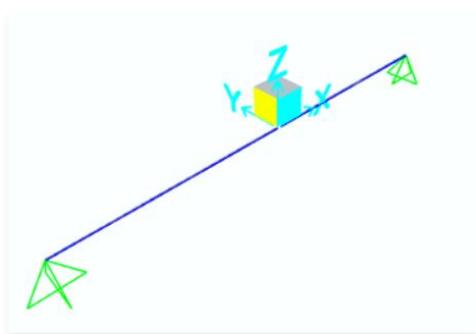


Figura 3. Imagem 3D retirada do Software SAP 2000 do modelo numérico.

Tabela 1. Modo de vibração, frequência natural e deslocamento.

Modo de vibração	Frequência f (Hz)	Deslocamento Máximo (U)	Forma do modo de vibração
1	182,425796	1,8206	
3	545,520528	1,8206	
5	903,361599	1,8206	

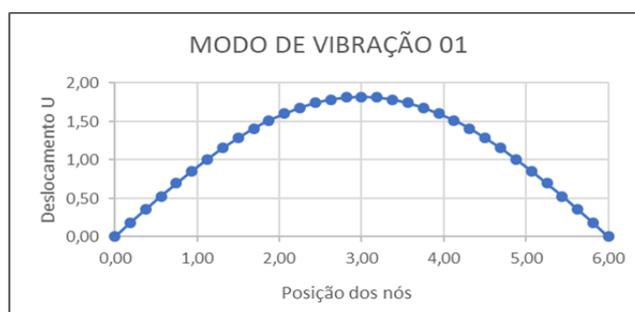


Figura 4. Gráfico de deslocamento em função do nó para o primeiro modo de vibração ($f = 182,426$ Hz).

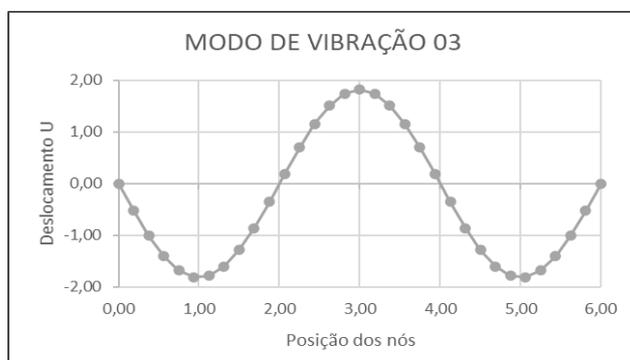


Figura 5. Gráfico de deslocamento em função do nó para o terceiro modo de vibração ($f = 545,521$ Hz).

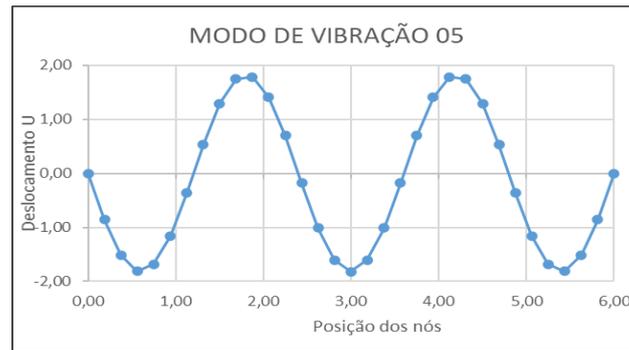


Figura 6. Gráfico de deslocamento em função do nó para o quinto modo de vibração ($f = 903,362$ Hz).

Todos os modos de vibração apresentaram deslocamentos máximos de $U = 1,8206$. Para redução dos valores de deslocamento, será aplicado um dispositivo AMS, onde espera-se que o mesmo desempenhe um papel de amortecedor, fazendo com que parte da energia seja dissipada através de um sistema de massa, mola e amortecedor.

4.2 Análise Modal Com Dispositivo AMS

Conforme mencionado anteriormente, realizou-se um total de 3 análises com valores diferentes para μ (m/M). Para isso, dentre os parâmetros do dispositivo, tais como massa (m), rigidez (k) e amortecimento (c), será trabalhada apenas a variação da massa do dispositivo (m) em função da massa da viga (M), analisando o intervalo de 5% a 15% dentro do que foi estabelecido por Chen e Huang [8] e a relação dessa variação com a eficácia do sistema. Os demais parâmetros (rigidez e amortecimento) serão constantes em todas as análises e foram determinados por Valencia [6] em um estudo similar usando as expressões ótimas de projeto propostas por Hartog [1]. Desse modo, tem-se os parâmetros do dispositivo utilizados nas análises conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do AMS

Análise	μ (m/M)	Massa M da Viga (kg)	Massa m do dispositivo (kg)	Rigidez k do dispositivo (N/m)	Amortecimento c do dispositivo (Ns/m)
1	5%	606,00	30,30	2313,5	8,36
2	10%	606,00	60,60	2313,5	8,36
3	15%	606,00	90,90	2313,5	8,36

Aplicados os parâmetros ótimos de projeto com uma razão m/M de 5% a 15%, obtiveram-se as novas frequências dos modos de vibração analisados. A partir deste resultado, foi possível calcular a redução em porcentagem da frequência f após a instalação do amortecedor em relação ao modelo analisado sem a aplicação do mesmo. Os resultados estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Frequências e variação de f

Modo de Vibração	ANÁLISE 1 $\mu = 5\%$		ANÁLISE 2 $\mu = 10\%$		ANÁLISE 3 $\mu = 15\%$	
	Frequência f (Hz)	Redução de f (%)	Frequência f (Hz)	Redução de f (%)	Frequência f (Hz)	Redução de f (%)
1	177,917553	2,4713%	173,720055	4,7722%	169,73577	6,9563%
3	532,094166	2,4612%	519,863864	4,7032%	508,674993	6,7542%
5	881,317312	2,4403%	862,078758	4,5699%	845,62114	6,3917%

Pôde-se obter também os deslocamentos máximos entre os 3 diferentes modos de vibração. A Tabela 4 mostra deslocamento máximo do nó central da viga de número 17 e comprimento $L = 3$ metros onde foi aplicado o dispositivo AMS, bem como a redução em porcentagem em relação aos deslocamentos obtidos do modelo sem o sistema de amortecimento.

Tabela 4. Deslocamento U máx. e redução de U

	ANÁLISE 1 $\mu = 5\%$	ANÁLISE 2 $\mu = 10\%$	ANÁLISE 2 $\mu = 15\%$
Deslocamento U máx.	1,7965	1,7717	1,746
Redução de U (%)	1,3237%	2,6859%	4,0976%

Como pode-se observar, os valores de f continuaram a variar de forma contínua e constante conforme aumento da relação m/M , e há o aumento constante na redução das frequências e deslocamentos resultantes quando comparado ao modelo estrutural sem aplicação do dispositivo AMS. Os gráficos demonstrados nas Figuras 7 a 9 mostram os deslocamentos de cada modo de vibração a cada análise feita dos diferentes valores de massa do dispositivo. É possível observar como os deslocamentos foram reduzidos de forma gradativa.

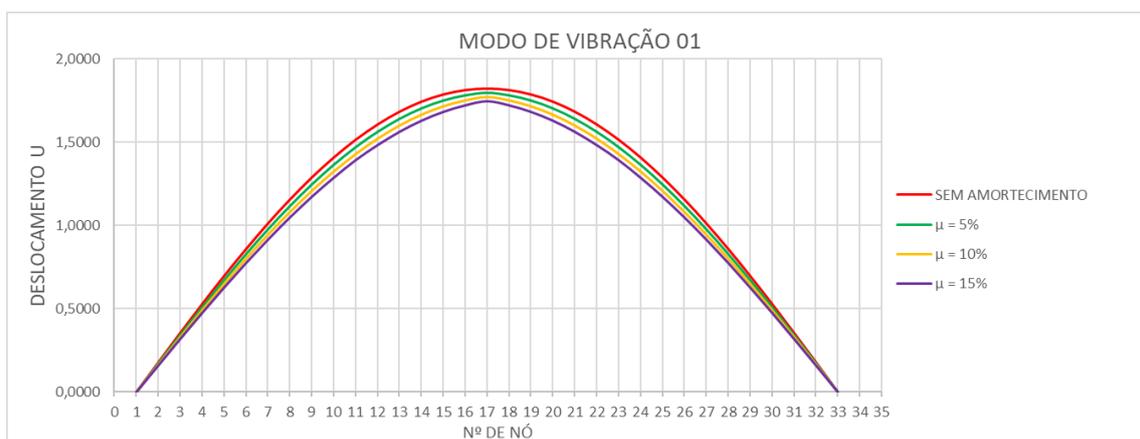


Figura 7. Gráfico de deslocamento em função do nó para o primeiro modo de vibração.

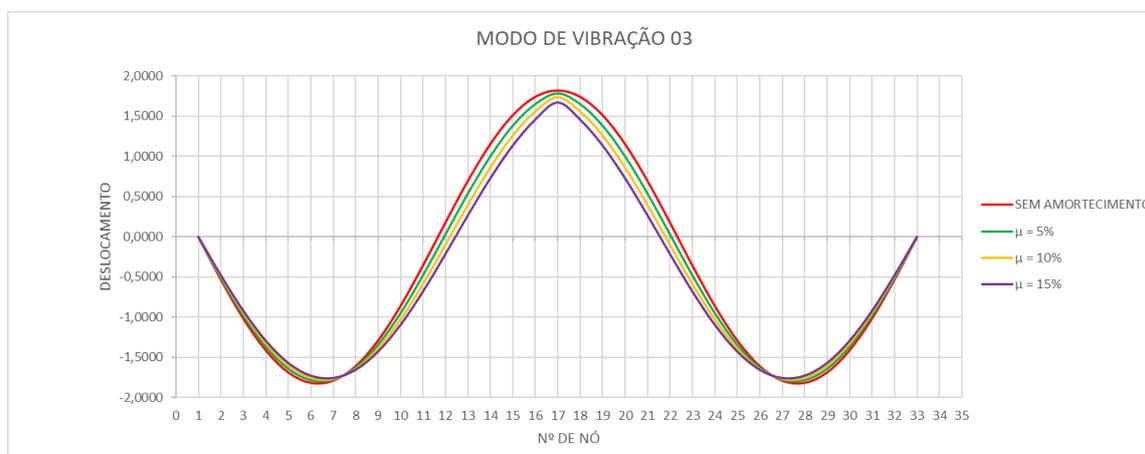


Figura 8. Gráfico de deslocamento em função do nó para o terceiro modo de vibração.

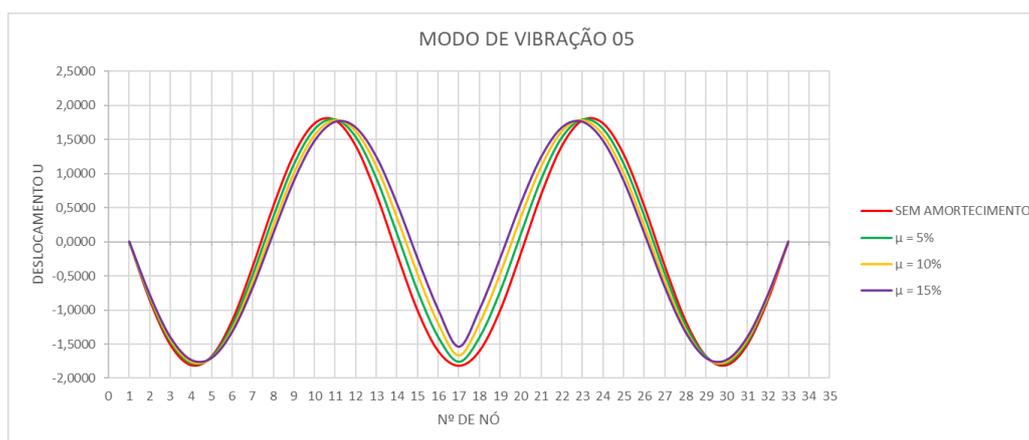


Figura 9. Gráfico de deslocamento em função do nó para o quinto modo de vibração.

5 Conclusões

Este trabalho apresentou um método para controle de vibrações que consiste na aplicação de um dispositivo que tem como finalidade absorver e dissipar vibrações excessivas resultantes de ações como, por exemplo, do vento. No presente estudo o modelo numérico utilizado foi submetido apenas à vibração livre, sem atuação de nenhuma força de excitação externa. Para aplicabilidade e melhor desempenho do dispositivo, foram aplicados os conceitos teóricos do pesquisador Den Hartog [1], o qual desenvolveu estudos sobre parâmetros ótimos de projeto que consistem em configurar as propriedades do dispositivo tais como massa, rigidez e amortecimento.

Baseando-se nos resultados obtidos, pode-se comprovar o afirmado por Chen e Huang [8] quanto aos valores de μ para se ter aplicabilidade do sistema de amortecimento e o quanto o sistema foi eficiente em seu objetivo de reduzir as respostas dinâmicas à medida que se variou os valores da massa do dispositivo, variando consequentemente a razão m/M .

Para os valores de $\mu \leq 15\%$, as análises obtiveram um resultado de redução máxima de frequência de 6,9563% e maior variação entre as análises de 2,359%. Quanto aos deslocamentos, a redução máxima foi de 4,0976%.

Após serem observados os resultados de todas as análises, pode-se concluir que o dispositivo se mostra eficaz na mesma proporção em que se aumenta o valor de μ , e também que sua eficiência se manteve de forma constante.

Declaração de autoria. Os autores confirmam que são os únicos responsáveis pela autoria deste trabalho, e que todo o material aqui incluído como parte do presente artigo é propriedade e autoria dos autores, ou tem a permissão dos proprietários para serem incluídos aqui.

Referências

- [1] DEN HARTOG, J. P. Mechanical Vibrations, (1956), 87. McGraw-Hill, 1956.
- [2] PAREDES, Miguel Moura et al. Utilização de amortecedores de massas sintonizadas no controlo de vibrações em estruturas. 2008.
- [3] MEIRELES, José F. Análise dinâmica de estruturas por modelos de elementos finitos identificados experimentalmente. Tese de Doutorado.2008.
- [4] BOLINA, C. C.; PALECHOR, E. U. L.; VÁSQUEZ, M. P. R. Vibrações: as frequências naturais estimada e experimental de uma estrutura. Blucher Mathematical Proceedings, v. 1, n. 1, p. 186-194, 2015.
- [5] SILVA, A. R. D. Sistema computacional para análise avançada estática e dinâmica de estruturas metálicas. 2009. 322 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- [6] VALENCIA, Luis Augusto Lara. Controle de vibrações em vigas metálicas com distintas configurações de apoio utilizando amortecedores de massa sintonizados. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- [7] LEE, Chien-Liang et al. Optimal design theories and applications of tuned mass dampers. Engineering structures, v. 28, n. 1, p. 43-53, 2006.
- [8] CHEN, Yung-Hsiang; HUANG, Yen-Hui. Timoshenko beam with tuned mass dampers and its design curves. Journal of Sound and Vibration, v. 278, n. 4-5, p. 873-888, 2004
- [9] ROSSATO, Luciana V.; MIGUEL, Letícia FF; MIGUEL, Leandro FF. Estimativa de razão de massas ideal de amortecedor de massa sintonizada para controle de vibrações em estruturas. Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia, v. 2, n. 13, p. 1-12, 2017.