

ESTUDO DO EFEITO DE NÚMERO E POSIÇÃO DE AMORTECEDORES MÉTÁLICOS NA RESPOSTA DINÂMICA DE PÓRTICOS PLANOS

Elias, S. J.^a, Avila, S.M.^b, Doz, G.N.^c

^a*Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasilia, Brasilia, Brasil,
engsergio@hotmail.com, <http://engsergio.webs.com>*

^b*Faculdade UnB-Gama FGA, Universidade de Brasilia, Brasilia, Brasil,
avilas@unb.br, <http://www.fga.unb.br>*

^c*Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasilia, Brasilia, Brasil,
graciela@unb.br, <http://www.estruturas.unb.br>*

Palavras Chave: Controle de vibrações; amortecedor metálico; dinâmica estrutural

RESUMO: Os diversos estudos sobre os novos materiais na construção civil e o progresso das técnicas de análise e dimensionamento estrutural tornaram possíveis estruturas cada vez mais esbeltas e flexíveis. Todavia, estas estruturas se tornaram mais vulneráveis à ocorrência de vibrações excessivas provocadas por carregamentos dinâmicos. Uma alternativa para este problema é o controle estrutural, uma tecnologia que promove uma alteração nas propriedades de rigidez e amortecimento da estrutura, reduzindo desta forma o nível de vibração. Dentro dessa técnica, existem os dispositivos de histerese que dissipam a energia através de um mecanismo que é independente da taxa de frequência do carregamento, número de ciclos da carga, ou variação de temperatura. Amortecedores metálicos são dispositivos histeréticos que utilizam o escoamento de metais como o mecanismo de dissipação. O objetivo do presente trabalho é estudar a influência do número e da posição de amortecedores metálicos em edifícios altos, modelados como pórticos planos, na eficiência do controle das vibrações da estrutura. Os amortecedores são instalados de tal forma que possam dissipar a energia transmitida pelo carregamento dinâmico. Seu posicionamento é uma importante etapa de projeto de forma a melhorar a performance do sistema de controle. Outra consideração importante em um projeto de sistema de controle estrutural é o número de amortecedores necessários para efetivamente reduzir o nível de vibrações satisfatoriamente, haja vista que este aspecto está diretamente ligado ao custo efetivo do sistema de controle. Foram realizadas simulações utilizando o software Ansys® e resultados preliminares mostram que a posição dos amortecedores metálicos tem influência significativa e nem sempre é necessário utiliza-los em todos os pavimentos.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e com o avanço tecnológico as estruturas vão se tornando cada vez mais esbeltas e flexíveis, contudo mais vulneráveis à eventos de vibrações excessivas provocadas por carregamentos dinâmicos, tais como terremotos, ventos, máquinas e demolição de edifícios com explosivos. Assim sendo, nos últimos anos tem-se investido muito em pesquisas e no desenvolvimento de ferramentas na área de controle de vibrações para melhorar o desempenho de estruturas sob vibrações externas e, conseqüentemente, da sua resposta a ações exteriores.

O controle estrutural é uma tecnologia para proteção de estruturas que promove uma alteração nas propriedades de rigidez e amortecimento da estrutura pela adição de dispositivos externos ou pela ação de forças externas. Esse pode ser classificado em passivo, ativo, híbrido e semi-ativo (Avila, 2002).

Dentre esses, o controle passivo tem sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas nos últimos quarenta anos, contando atualmente com uma série de implementações práticas principalmente nos Estados Unidos e Japão (Soong e Dargush, 1997). Esse controle consiste em um ou mais dispositivos incorporados à estrutura que absorvem ou consomem uma parte da energia transmitida pelo carregamento dinâmico, reduzindo a dissipação dessa energia nos elementos da estrutura e, assim, minimizando possíveis danos. As principais vantagens do controle passivo em relação a outros tipos de controle são que este tipo de sistema não requer o uso de tecnologias muito complexas, não necessita de um sistema de manutenção permanente, é confiável, eficiente e dispensa qualquer fonte de energia externa para funcionar adequadamente.

A função básica de dispositivos de dissipação de energia passiva quando incorporados à estrutura é absorver ou consumir uma parte da entrada de energia, reduzindo assim a demanda de energia primária na dissipação de elementos estruturais e minimizar possíveis danos estruturais, estes dispositivos podem ser eficazes contra os movimentos induzidos pelo vento, bem como os causados por terremotos.

Um tipo de amortecedor passivo é o dispositivo histerético, conhecidos como amortecedores metálicos. Estes utilizam o escoamento de metais como o mecanismo de dissipação de energia, para assim reduzir os efeitos produzidos por vibrações excessivas nas estruturas. Diferentes dispositivos têm sido propostos na literatura: Kelly et al. (1972), Skinner et al. (1972), Skinner et al. (1975), Özdemir (1976), Robinson e Greenback (1976), Bergman e Goel (1987), Aguirre e Sánchez (1992), Motamedi e Nateghi (2004) e Motamedi et al. (2008). Neste contexto, o presente trabalho visa contribuir na análise do comportamento e eficiência dos amortecedores metálicos aplicados à redução de vibrações.

O objetivo do presente trabalho é estudar a influência do número e da posição de amortecedores metálicos em edifícios altos, modelados como pórticos planos, na eficiência do controle das vibrações da estrutura. Os amortecedores são instalados de tal forma que possam dissipar a energia transmitida pelo carregamento dinâmico. Seu posicionamento é uma importante etapa de projeto de forma a melhorar a performance do sistema de controle. Outra consideração importante em um projeto de sistema de controle estrutural é o número de amortecedores necessários para efetivamente reduzir o nível de vibrações satisfatoriamente, haja vista que este aspecto está diretamente ligado ao custo efetivo do sistema de controle. Diversos estudos podem ser encontrados na literatura buscando a otimização deste tipo de problema: Jacquot (2004), Movaffaghi e Friberg (2006) e Yousefzadeh et al. (2011).

2 AMORTECEDORES METÁLICOS

Os amortecedores metálicos utilizam o escoamento de metais como mecanismo de dissipação de energia, no entanto, o escoamento controlado de elementos estruturais pode resultar em deformações permanentes. Estes aparelhos baseiam a sua ação de controle nas sucessivas deformações plásticas associadas ao comportamento histerético do material constituinte que é normalmente um metal possuidor de características de elevada ductilidade.

Curadelli (2003) concluiu em seus estudos a notável estabilidade nos ciclos de histerese e para evitar os danos associados com o comportamento inelástico, os dispositivos adicionados com esse amortecimento podem ser projetados de tal forma que os principais elementos estruturais (vigas e pilares) permaneçam elásticos.

Motamedi e Nateghi (2004) estudaram um novo tipo de amortecedor metálico, um tubo metálico de parede fina sanfonado (AMD), como dispositivo de absorção passiva de energia para o projeto sísmico e reequipamento sísmico de estruturas já existentes. Com base nos estudos realizados, os resultados obtidos mostram que os tubos utilizados como amortecedores histeréticos têm o mesmo comportamento estável em tensão e compressão e podem sofrer uma grande deformação no estado estável e absorver a energia. Estudos numéricos e análise não-linear mostram que os (AMD) podem ser usados como amortecedores metálicos histeréticos e que podem ser usados também para a adaptação das estruturas já existentes contra o sismo.

Motamedi et al. (2008) estudaram o comportamento experimental dos amortecedores metálicos sanfonado preenchidos (FAMD). Tendo como melhorias a introdução de uma espuma polimérica nos (AMD). Teve como conclusões com base nos resultados experimentais, que o uso de espuma de poliuretano como enchimento no interior dos amortecedores metálicos sanfonados ajudou a controlar o modo de flambagem de amortecedores sob carga cíclica axial e evitou o contato dos corrugados (concentração de deformação entre rugas), e conseqüentemente, aumentou o número de ciclos antes da falha do amortecedor.

Yousefzadeh et al. (2011) pesquisaram a colocação otimizada do amortecedor Tadas no momento resistente de estruturas de aço com base numa análise custo-benefício, considerando a aplicação do número mínimo de amortecedores em um edifício com o objetivo de restringir no máximo o dano nos membros principais. Foram utilizados algoritmos genéticos para determinar a localização ideal e as características dos amortecedores Tadas para em seguida encontrar o índice de dano para cada membro e do índice médio ponderado de danos de todos os membros. Foram escolhidas quatro propostas de localização do amortecedor, observou-se que foi pequeno o dano em membros principais sob forte terremoto o que sugere que o propósito da restrição foi cumprido, daí se conclui que a localização e as características destes amortecedores para dissipar a entrada de energia do sismo foram bem selecionadas.

3 EQUAÇÕES DO MOVIMENTO

Considere um sistema de N graus de liberdade sujeito à uma excitação externa qualquer. As equações de movimento desse sistema são dadas na forma

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{y}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (1)$$

onde \mathbf{M} , \mathbf{C} e \mathbf{K} são as matrizes de massa, amortecimento e rigidez da estrutura, respectivamente; $\mathbf{F}(t)$ é o carregamento dinâmico aplicado sobre a estrutura; $\mathbf{y}(t)$ é o vetor de deslocamentos da estrutura.

Inicialmente, atribui-se $\mathbf{F}(t) = \mathbf{0}$, que caracteriza o problema de vibrações livres, este

problema recai em um problema de autovalor e autovetor cuja solução representa as frequências naturais e os modos de vibração do sistema. Em seguida o sistema de equações de movimento (1) é solucionado considerando-se uma excitação harmônica. Todo o processamento numérico é realizado através do software de elementos finitos ANSYS.

4 EXEMPLO NUMÉRICO

Visando estudar a influência do número e da posição de amortecedores metálicos em edifícios altos, modelados como pórticos planos, na eficiência do controle das vibrações da estrutura, foram estudados diversos pórticos, variando-se o número de andares e vãos, com diferentes configurações de número e posição de amortecedores metálicos. O material considerado é um aço de comportamento elástico linear com módulo de elasticidade no valor de 193 GPa, coeficiente de Poisson no valor de 0,3 e densidade (massa específica) de 7850 kg/m³. Os vãos do modelo são de 3 metros de largura e cada pavimento possui 3 metros de altura. Foi utilizado um perfil I (152mm x 22kg/m) de aço para vigas e pilares. Para o contraventamento foram utilizados dois tipos de perfis I, um com 51% da inércia dos pilares (127mm x 14,8kg/m) e outro com 12% da inércia dos pilares (76mm x 11,2kg/m). O carregamento considerado para as análises é uma carga harmônica senoidal $\mathbf{F}(t) = \mathbf{F}_0 \cdot \text{Sen}(\omega t)$, tal que $\mathbf{F}_0 = 100$ KN é o vetor de amplitudes proporcional ao primeiro modo de vibração, ω a frequência angular em Hertz e t a variável independente em segundos. A carga é aplicada pontualmente ao último andar. BEAM3 foi o elemento utilizado na descrição.

4.1 Análise dos pórticos com um pavimento

A Figura 4.1 mostra as configurações analisadas para esta estrutura.



Figura 4.1: Pórtico com um pavimento

As frequências naturais do pórtico de um pavimento que são apresentadas na Tabela 4.1 para o caso sem controle e com controle variando-se a inércia do contraventamento metálico.

Pórtico com um pavimento			
	ω_1	ω_2	ω_3
Sem controle	16,794	65,662	107,800
Controle no 1º pavimento - 0,12I	27,994	64,768	69,911
Controle no 1º pavimento - 0,51I	45,541	70,583	76,541

Tabela 4.1: Frequências naturais em Hertz dos pórticos com um pavimento

Ao observar as frequências naturais dos pórticos com um pavimento sem controle e com controle (12% e 51% da inércia da estrutura principal) verifica-se que a introdução do reforço aumenta a frequência em 66,7% e 171,2%, respectivamente, no primeiro modo de vibração.

Para a análise de vibração forçada do pórtico com um pavimento sem nenhum tipo de

controle a amplitude máxima do deslocamento encontrada foi de 9,35 centímetros. A Tabela 4.2 apresenta os valores dos deslocamentos máximos da estrutura controlada variando-se a inércia do amortecedor metálico.

Pórtico com 1 Pavimento		0,12 I	0,51 I
Amplitude do Deslocamento (cm)	Controle no 1º pavimento	0,41	0,36

Tabela 4.2: Amplitude máxima do deslocamento do pórtico com um pavimento com controle

Verificou-se ainda que para esta mesma estrutura sem controle a amplitude máxima da aceleração encontrada foi de 49,81 m/s². A Tabela 4.3 apresenta as acelerações obtidas em cada um dos casos controlados.

Pórtico com 1 Pavimento		0,12 I	0,51 I
Amplitude da Aceleração (m/s ²)	Controle no 1º pavimento	6,08	11,90

Tabela 4.3: Amplitude da aceleração do pórtico com um pavimento

Observando os resultados da Tabela 4.2 em relação à estrutura sem controle, constata-se que houve uma redução de 95% no valor do deslocamento, da mesma forma, nos resultados apresentados na Tabela 4.3 em relação a estrutura sem controle houve uma redução de 76,1% da aceleração máxima. Assim sendo a instalação do amortecedor apresentou excelentes resultados, reduzindo-se melhor a resposta com o amortecedor mais rígido.

4.2 Análise dos pórticos com dois pavimentos

A Figura 4.2 mostra as configurações analisadas variando-se número e posição dos amortecedores para esta estrutura.

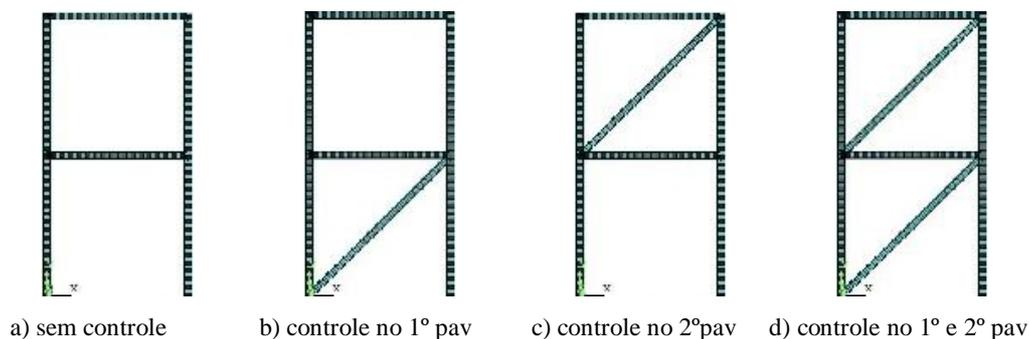


Figura 4.2: Pórtico com dois pavimentos

As frequências naturais do pórtico de dois pavimentos são apresentadas na Tabela 4.4 para o caso sem controle e com controle variando-se a inércia do contraventamento metálico e também seu número e posição. Verificou-se que a instalação do amortecedor no primeiro pavimento torna a estrutura mais rígida. A variação da inércia do amortecedor teve pouca influência no valor da primeira e terceira frequências naturais.

Pórtico com dois pavimentos			
	ω_1	ω_2	ω_3
Sem controle	7,840	25,762	56,366
Controle no 1º pavimento - 0,12I	14,089	28,177	56,576
Controle no 1º pavimento - 0,51I	14,247	46,265	58,386
Controle no 2º pavimento - 0,12I	9,392	28,685	55,894
Controle no 2º pavimento - 0,51I	9,255	45,994	59,218
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,12I	26,448	28,188	37,212
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,51I	34,030	46,728	49,817

Tabela 4.4: Frequências naturais em Hertz dos pórticos com dois pavimentos

Para a análise de vibração forçada sem nenhum tipo de controle a amplitude máxima do deslocamento encontrada no segundo pavimento foi de 12,22 centímetros. A Tabela 4.5 apresenta os valores dos deslocamentos máximos do segundo andar encontrados para cada configuração de controle.

Pórtico com 2 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude do Deslocamento (cm)	Controle no 1º pavimento	0,56	0,44
	Controle no 2º pavimento	8,42	8,40
	Controle no 1º e 2º pavimentos	0,44	0,37

Tabela 4.5: Amplitude máxima do deslocamento do pórtico com dois pavimentos com controle

Como se pode verificar o número e a posição dos amortecedores influenciam diretamente na eficiência do sistema de controle. Os resultados obtidos sugerem que a melhor posição para o amortecedor é no 1º pavimento que resulta em uma redução de 95,42% em relação a estrutura sem controle.

A Tabela 4.6 apresenta as acelerações máximas em cada caso. Para o caso da estrutura sem controle a amplitude da aceleração encontrada no segundo pavimento foi de 27,29 m/s².

Pórtico com 2 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude da Aceleração (m/s ²)	Controle no 1º pavimento	2,66	2,26
	Controle no 2º pavimento	22,53	21,97
	Controle no 1º e 2º pavimentos	5,14	6,61

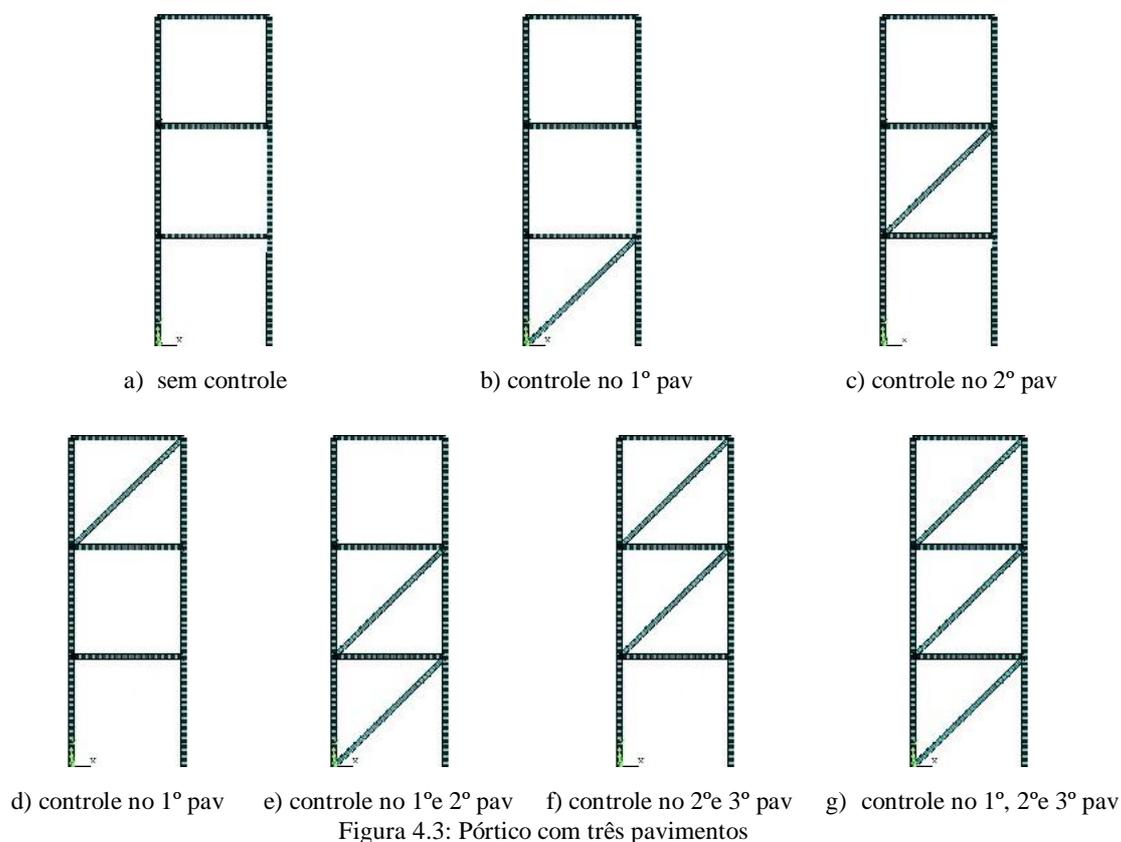
Tabela 4.6: Amplitude da aceleração do pórtico com dois pavimentos

Ao observar as amplitudes das acelerações dos pórticos com dois pavimentos sem controle e com controle pode-se verificar que a introdução do reforço:

- ✓ apenas no 1º pavimento reduziu a aceleração em aproximadamente 90,2%. A variação foi pequena em relação ao valor da inércia dos pórticos.
- ✓ apenas no 2º pavimento não houve uma boa redução, visto que os valores são praticamente os mesmos.

4.3 Análise dos pórticos com três pavimentos

A Figura 4.3 mostra as configurações analisadas variando-se o número e a posição dos amortecedores nesta estrutura.



As frequências naturais do pórtico de três pavimentos são apresentadas na Tabela 4.7 para o caso sem controle e com controle variando-se a inércia do contraventamento metálico e também seu número e posição. Verificou-se que na instalação de um único amortecedor não influenciou o valor da primeira frequência significativamente. A instalação de amortecedores no primeiro e segundo andares torna a estrutura mais rígida.

Pórtico com 3 pavimentos			
	ω_1	ω_2	ω_3
Sem controle	5,1074	16,910	30,569
Controle no 1º pavimento - 0,12I	7,2325	24,726	29,036
Controle no 1º pavimento - 0,51I	7,2824	24,877	47,781
Controle no 2º pavimento - 0,12I	7,4897	17,414	29,872
Controle no 2º pavimento - 0,51I	7,4673	17,456	48,044
Controle no 3º pavimento - 0,12I	5,2250	22,627	29,769
Controle no 3º pavimento - 0,51I	5,1434	22,827	47,093
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,12I	13,5660	27,293	29,083
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,51I	13,7850	34,415	48,394
Controle no 2º e 3º pavimentos - 0,12I	7,3942	28,114	29,636
Controle no 2º e 3º pavimentos - 0,51I	7,2752	40,794	47,880
Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos - 0,12I	20,9420	28,396	29,080
Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos - 0,51I	22,2740	44,162	48,341

Tabela 4.7: Frequências naturais em Hertz dos pórticos com três pavimentos

Para a análise de vibração forçada, neste caso sem nenhum tipo de controle a amplitude máxima do deslocamento encontrada no terceiro pavimento foi de 44,94 centímetros. A Tabela 4.8 apresenta os valores dos deslocamentos máximos encontrados em cada configuração analisada, variando-se a inércia do amortecedor.

Pórtico com 3 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude do Deslocamento (cm)	Controle no 1º pavimento	29,77	29,34
	Controle no 2º pavimento	19,40	19,05
	Controle no 3º pavimento	26,13	25,94
	Controle no 1º e 2º pavimentos	13,02	12,78
	Controle no 2º e 3º pavimentos	9,60	9,50
	Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos	2,22	1,97

Tabela 4.8: Amplitude máxima do deslocamento do pórtico com três pavimentos com controle

Como se pode verificar o número e a posição dos amortecedores influenciam diretamente na eficiência do sistema de controle. Os resultados obtidos sugerem que a melhor posição para utilização de um único amortecedor é no 2º pavimento que resulta em uma redução de 56,83% em relação a estrutura sem controle. Ao utilizar dois amortecedores a melhor posição seria instalar os mesmos nos 2º e 3º pavimentos que resulta em uma redução de 78,64% em relação

à estrutura sem controle.

Pórtico com 3 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude da Aceleração (m/s ²)	Controle no 1º pavimento	54,86	54,78
	Controle no 2º pavimento	29,95	29,22
	Controle no 3º pavimento	26,96	26,16
	Controle no 1º e 2º pavimentos	43,24	41,52
	Controle no 2º e 3º pavimentos	17,28	16,62
	Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos	15,78	15,64

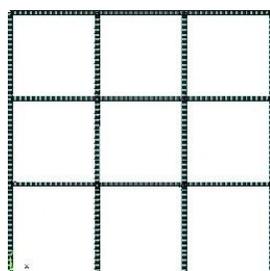
Tabela 4.9: Amplitude da aceleração do pórtico com três pavimentos

As acelerações máximas encontradas para cada configuração no terceiro pavimento são apresentadas na Tabela 4.9. A resposta sem controle apresentou aceleração máxima de 41,26 m/s². Houve uma redução de 27.41% no valor da aceleração máxima ao utilizar o controle no 2º pavimento e 58,12% empregando o controle no 2º e 3º pavimentos.

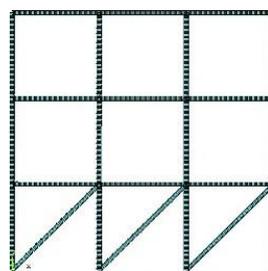
4.4 Análise de pórticos com 3x3 pavimentos

A Figura 4.4 mostra as configurações analisadas variando-se número e posição dos amortecedores de um pórtico com três pavimentos e três vãos.

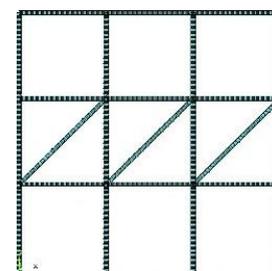
As frequências naturais do pórtico com três pavimentos e três vãos são apresentadas na Tabela 4.10 para o caso sem controle e com controle variando-se a inércia do contraventamento metálico e também seu número e posição. Verificou-se que a instalação de amortecedores nos 1º e 2º pavimentos torna a estrutura mais rígida.



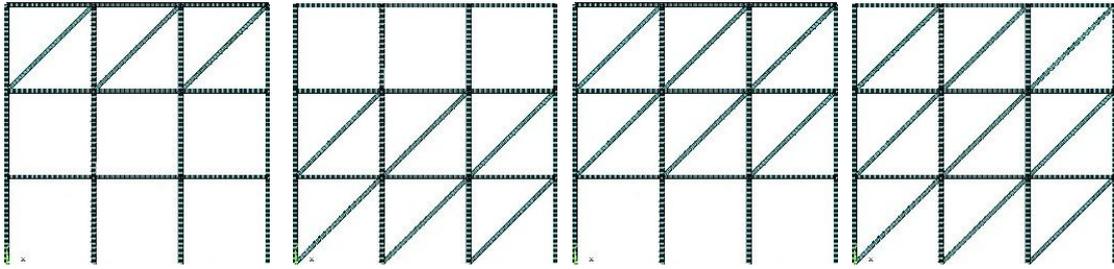
a) sem controle



b) controle no 1º pavimento



c) controle no 2º pavimento



d) controle no 3º pav e) controle no 1º e 2º pav f) controle no 2º e 3º pav g) controle no 1º, 2º e 3º pav

Figura 4.4: Pórtico com 3x3 pavimentos

Pórtico 3x3			
	ω_1	ω_2	ω_3
Sem controle	5,0378	16,100	27,797
Controle no 1º pavimento - 0,12I	7,1360	23,027	29,061
Controle no 1º pavimento - 0,51I	7,1770	23,122	47,901
Controle no 2º pavimento - 0,12I	7,0305	16,480	28,748
Controle no 2º pavimento - 0,51I	6,9832	16,479	45,991
Controle no 3º pavimento - 0,12I	5,0409	21,197	28,538
Controle no 3º pavimento - 0,51I	4,9440	21,314	44,983
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,12I	13,3250	27,827	28,592
Controle no 1º e 2º pavimentos - 0,51I	13,4960	37,967	45,455
Controle no 2º e 3º pavimentos - 0,12I	6,9057	28,331	28,407
Controle no 2º e 3º pavimentos - 0,51I	6,7556	43,650	44,494
Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos - 0,12I	24,4330	28,348	28,472
Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos - 0,51I	27,7080	44,286	44,968

Tabela 4.10: Frequências naturais em Hertz dos pórticos com 3x3 pavimentos

A análise de vibração forçada para o pórtico com três pavimentos e três vãos sem nenhum tipo de controle forneceu uma amplitude máxima do deslocamento no terceiro pavimento de 18,70 centímetros. A Tabela 4.11 apresenta os valores dos deslocamentos máximos encontrados em cada configuração analisada, variando-se a inércia do amortecedor.

Pórtico com 3X3 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude do Deslocamento (cm)	Controle no 1º pavimento	12,35	12,27
	Controle no 2º pavimento	8,60	8,41
	Controle no 3º pavimento	11,21	11,07
	Controle no 1º e 2º pavimentos	5,47	5,34
	Controle no 2º e 3º pavimentos	4,17	4,08
	Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos	0,56	0,50

Tabela 4.11: Amplitude máxima do deslocamento do pórtico com 3x3 pavimentos com controle

Como se pode verificar o número e a posição dos amortecedores influenciam diretamente na eficiência do sistema de controle. Os resultados obtidos recomendam que a melhor posição para somente um amortecedor é no 2º pavimento que resulta em uma redução de 54% em relação a estrutura sem controle. Ao utilizar dois amortecedores a melhor posição seria no 2º e 3º pavimentos que resulta em uma redução de 78,2% em relação à estrutura sem controle.

As acelerações máximas encontradas para cada configuração no terceiro pavimento são apresentadas na Tabela 4.12. Para o caso da estrutura sem controle a aceleração máxima encontrada foi de 17,95 m/s². Houve uma redução da aceleração utilizando o controle no 2º pavimento de 22,3% e empregando o controle no 2º e 3º pavimentos achou-se uma redução de 63,1% em relação à estrutura sem controle.

Pórtico com 3x3 Pavimentos		0,12 I	0,51 I
Amplitude da Aceleração (m/s ²)	Controle no 1º pavimento	22,17	22,20
	Controle no 2º pavimento	13,95	13,73
	Controle no 3º pavimento	10,95	10,50
	Controle no 1º e 2º pavimentos	19,39	18,18
	Controle no 2º e 3º pavimentos	6,62	6,19
	Controle no 1º, 2º e 3º pavimentos	5,81	6,24

Tabela 4.12: Amplitude da aceleração do pórtico com 3x3 pavimentos

4.5 Análise de pórticos com 5x5 pavimentos

A Figura 4.5 mostra as configurações analisadas variando-se número e posição dos amortecedores de um pórtico plano com cinco pavimentos e cinco vãos.

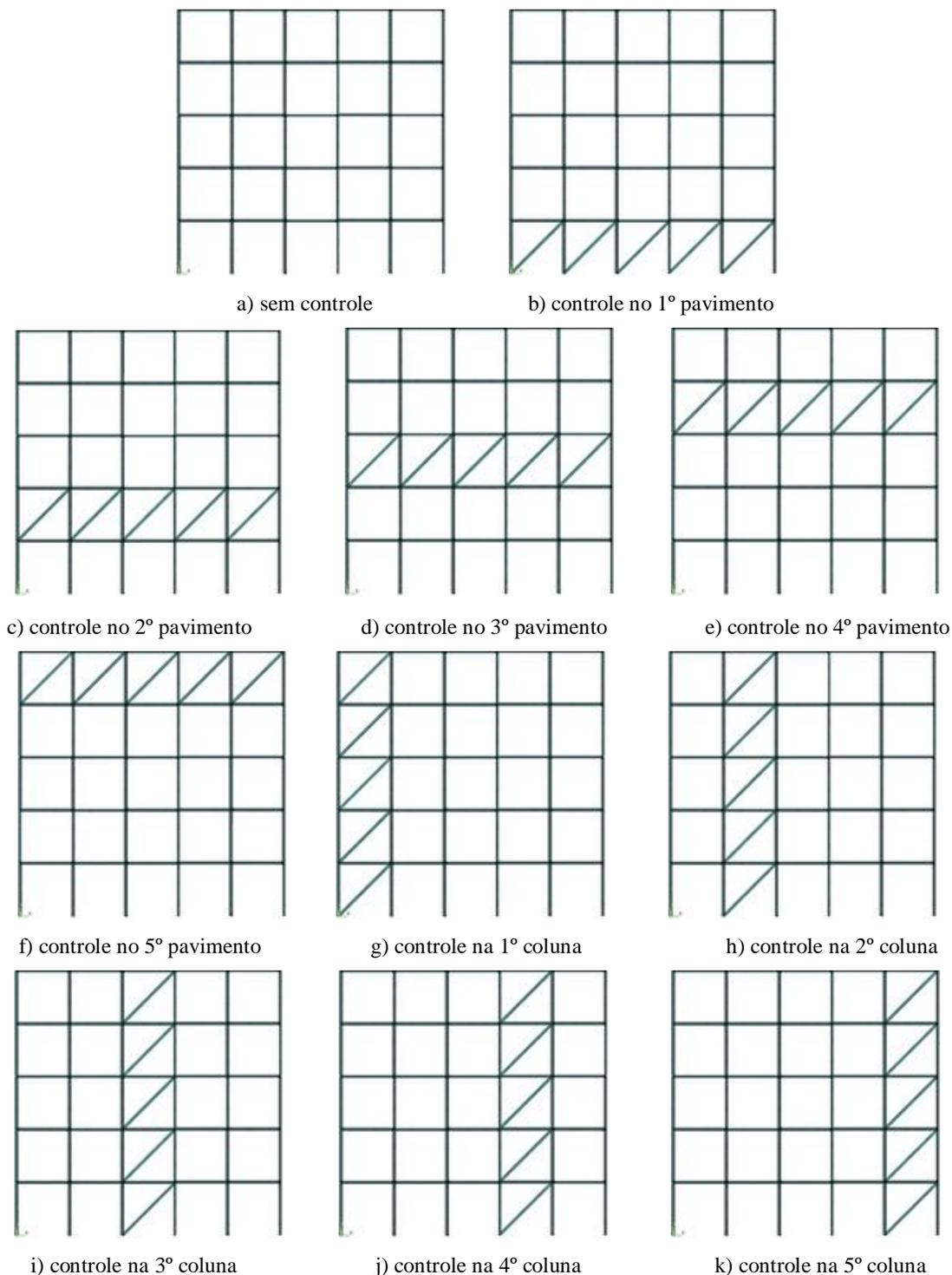


Figura 4.5: Pórtico com 5x5 pavimentos

As frequências naturais do pórtico com cinco pavimentos e cinco vãos são apresentadas na Tabela 4.13 para o caso sem controle e com controle variando-se a inércia do contraventamento metálico e também seu número e posição. Constatou-se que a introdução do amortecedor teve pouca influência no valor da frequência quando os amortecedores foram instalados ao longo de um único pavimento, conforme as Figuras 4.5(b) a 4.5(f). A instalação de amortecedores em todos os andares de um mesmo vão torna a estrutura mais rígida.

Pórtico 5x5			
	ω_1	ω_2	ω_3
Sem controle	2,9556	9,181	16,132
Controle no 1° pavimento - 0,51I	3,5848	11,288	19,974
Controle no 2° pavimento - 0,51I	3,9432	9,101	16,368
Controle no 3° pavimento - 0,51I	3,4334	9,445	20,655
Controle no 4° pavimento - 0,51I	3,0142	12,549	16,232
Controle no 5° pavimento - 0,51I	2,7965	9,802	18,803
Controle no 1° coluna - 0,51I	6,7459	23,318	40,905
Controle no 2° coluna - 0,51I	6,8983	23,772	42,541
Controle no 3° coluna - 0,51I	6,8764	23,733	42,828
Controle no 4° coluna - 0,51I	6,8778	23,521	42,337
Controle no 5° coluna - 0,51I	6,6264	22,926	40,575

Tabela 4.13: Frequências naturais em Hertz dos pórticos com 5x5 pavimentos

Para a análise de vibração forçada para o pórtico com cinco pavimentos e cinco vãos sem nenhum tipo de controle a amplitude máxima do deslocamento encontrada no quinto pavimento foi de 21,19 centímetros. A Tabela 4.14 apresenta os valores dos deslocamentos máximos encontrados em cada configuração analisada.

Como se pode verificar o número e a posição dos amortecedores influenciam diretamente na eficiência do sistema de controle. Os resultados obtidos sugerem que a melhor posição para os amortecedores é no segundo vão, caso mostrado na Figura 4.5(h), que resulta em uma redução de 79,1% em relação à estrutura sem controle. Mas se não for possível utilizar essa configuração, pode-se instalar os amortecedores nos outros vãos já que a performance é praticamente equivalente.

As acelerações máximas encontradas para cada configuração no terceiro pavimento são apresentadas na Tabela 4.15. A resposta sem controle apresentou aceleração máxima de 8,76 m/s². A redução apresentada para a aceleração foi pequena em relação à estrutura sem controle, a melhor posição para o amortecedor é no segundo vão, Figura 4.5(h), que resulta em uma redução de 17,7% em relação à estrutura sem controle.

Pórtico com 5x5 Pavimentos		0,51 I
Amplitude do Deslocamento (cm)	Controle no 1° pavimento	17,30
	Controle no 2° pavimento	14,96
	Controle no 3° pavimento	14,43
	Controle no 4° pavimento	14,61
	Controle no 5° pavimento	16,51
	Controle na 1° coluna	4,69
	Controle na 2° coluna	4,43
	Controle na 3° coluna	4,45
	Controle na 4° coluna	4,46
	Controle na 5° coluna	4,99

Tabela 4.14: Amplitude máxima do deslocamento do pórtico com 5x5 pavimentos com controle

Pórtico com 5x5 Pavimentos		0,51 I
Amplitude da Aceleração (m/s ²)	Controle no 1° pavimento	8,82
	Controle no 2° pavimento	9,69
	Controle no 3° pavimento	7,39
	Controle no 4° pavimento	6,20
	Controle no 5° pavimento	5,84
	Controle na 1° coluna	7,11
	Controle na 2° coluna	7,21
	Controle na 3° coluna	7,23
	Controle na 4° coluna	7,24
	Controle na 5° coluna	6,93

Tabela 5.15: Amplitude da aceleração do pórtico com 5x5 pavimentos

CONCLUSÕES

No presente trabalho, avaliou-se a eficiência dos amortecedores metálicos aplicados à redução de vibrações, verificando a influência da quantidade e a localização de amortecedores metálicos como dispositivo de controle passivo.

O estudo numérico analisou pórticos com diferentes números de andares e vãos utilizando configurações de amortecedores distintas, com vistas a verificar qual seria a mais eficiente no controle de vibrações excessivas.

Os resultados confirmam que a definição do número de amortecedores e seu posicionamento é uma importante etapa de projeto de forma a melhorar a performance do sistema de controle. Estudos utilizando algoritmos de otimização podem ser úteis na elaboração de diretivas de projeto para sistemas de controle com amortecedores metálicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido pelas agências CNPq e Capes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, M. e SANCHEZ, A.R. Structural Seismic Damper, *Journal Structural Engineering*, ASCE, 118, 5, 1158-1171, 1992.
- AVILA, S. M. *Controle híbrido para atenuação de vibrações em edifícios*. Tese de doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

- BERGMAN, D.M. e GOEL, S.C. *Evaluation of Cyclic Testing of Steel-Plate Device for Added Damping and Stiffness*, Report No. UMCE 87-10, The Univ. of Michigan, Ann Arbor, MI, 1987.
- CURADELLI, R.O. *Controle de vibrações em estruturas usando amortecedores metálicos*, Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2003.
- DARGUSH, G.F. e SOONG, T.T. *Behavior of Metallic Plate Damper in Seismic Passive Energy Dissipation System*, *Earthquake Spectra*, 11, 4, 545-568, 1995.
- KELLY, J.M., SKINNER, R.I., e HEINE, A.J. *Mechanisms of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake Resistant Structures*, *Bull N.Z.Soc. Earthquake Engineering*, 5,3,63-88. 1972.
- JACQUOT, R.G. *Optimal Damper Location for Randomly Forced Cantilever Beams*. *Journal of Sound and Vibration*, 269, 623-632, 2004.
- MOTAMEDI, M. e NATEGHI, F. *Using Accordion Thin-Walled Tube as a Hysteretic Metallic Damper*. Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada, 2004.
- MOTAMEDI, M., NATEGHI, F., e IZADI. *Experimental Behavior of the Seismic Filled accordion Metallic Dampers, FAMD*. Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China 2008.
- MOVAFFAGHI, H. e FRIBERG, O. *Optimal Placement of Dampers in Structures Using Genetic Algorithm*. Emerald Article, Engineering Computations, 2006.
- OZDEMIR, H. *Nonlinear Transient Dynamic Analysis of Yielding Structure*, PhD. Dissertation, Univ. of California, Berkeley, CA, 1976.
- ROBINSON, et.al. *Lead-Rubber Hysteretic Bearing Suitable for Protection Structures During Earthquakes*, *Journal Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10,593-604, 1982.
- SKINNER, R.J., KELLY, J.M., e HEINE, A.J. *Hysteresis Dampers for Earthquake-Resistant Structures*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3, 287-296, 1975.
- TOVAR, C. e LÓPEZ, O.A. *Effect of the Position and Number of Dampers on the Seismic Response of Frame Structures*. Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 2004
- YOUSEFZADEH, A., SEBT, M.H., e TEHRANIZADEH, M.A. *The optimal TADAS damper placement in moment resisting steel structures based on a cost-benefit analysis*. *International Journal of Civil Engineering*, 2011.