

Carbono incorporado devido a modificações estruturais em lajes compósitas de aço e concreto para reduzir vibrações excessivas geradas por cargas dinâmicas de caminhada

Samuel Honório Silva Araújo*, João Pedro da Silva Sousa e Márcio Santos Gonçalves

Centro Universitário - UNIESP. Rodovia BR-230, km 14, S/Nº. Morada Nova. Cabedelo-PB, Brasil (CEP 58109-303). *E-mail: 2021110760001@iesp.edu.br.

Resumo. Lajes compósitas de aço e concreto estão progressivamente mais susceptíveis a vibrações verticais induzidas por cargas de caminhada. Geralmente, modificações estruturais são realizadas nessas lajes (ex.: aumento da espessura da camada de concreto e alterações nas dimensões de vigas metálicas) para reduzir tais vibrações, conferindo maior massa e rigidez estrutural. Entretanto, esta prática tem frequentemente resultado em: 1) maiores taxas de carbono incorporado na estrutura; 2) maior consumo de concreto e de aço; e 3) maior custo da edificação. As primeiras duas consequências são especialmente preocupantes devido ao atual cenário de emergência climática global. Neste contexto, o uso de atuadores dinâmicos mostra-se promissor na redução destas vibrações com menores impactos ambientais. Este artigo compara impactos ambientais gerados por modificações estruturais e por atuadores dinâmicos num modelo computacional de laje. Resultados mostraram que modificações estruturais geraram laje 95% mais pesada e com carbono incorporado 33% maior que o uso de atuadores.

Palavras-chave: Lajes; Vibrações; Carbono incorporado; Atuadores dinâmicos.

Abstract. *Embodied carbon due to structural modifications in steel and concrete composite slabs to reduce excessive vibrations generated by dynamic walking loads.* Composite steel-concrete slabs are becoming increasingly susceptible to vertical vibrations induced by walking loads. Typically, structural modifications are implemented in these slabs (e.g., increasing the thickness of the concrete layer or altering the dimensions of steel beams) to reduce such vibrations by increasing the overall mass and stiffness of the structure. However, this practice has often resulted in: (1) higher embodied carbon rates in the structure; (2) greater consumption of concrete and steel; and (3) increased

Recebido
06/07/2025

Aceito
11/08/2025

Publicado
31/08/2025



Acesso aberto



ORCID

0009-0003-3635-0707

Samuel Honório Silva
Araújo

0009-0009-2372-4275

João Pedro da Silva
Sousa

0000-0001-6702-0020

Márcio Santos Gonçalves

building costs. The first two consequences are particularly concerning given the current global climate emergency. In this context, the use of dynamic actuators has shown promise in mitigating these vibrations with lower environmental impacts. This paper compares the environmental impacts generated by structural modifications and by dynamic actuators in a computational slab model. Results showed that structural modifications produced a slab that was 95% heavier and had 33% higher embodied carbon than when using actuators.

Keywords: Slabs; Vibrations; Embedded carbon; Dynamic actuators.

Introdução

O Estado Limite de Serviço (ELS) de Vibrações Excessivas tem se consolidado como um dos critérios mais relevantes no projeto estrutural de lajes em edifícios modernos. Em diversas tipologias, especialmente em edificações destinadas a escritórios e espaços de uso coletivo, o desempenho em serviço deixa de ser apenas mais um aspecto secundário e passa a governar o dimensionamento de pisos e lajes, uma vez que tem se exigido cada vez que as estruturas respeitem os limites de conforto. Esse cenário torna-se crítico em lajes com escritórios de planta livre (*open-plan offices*), nas quais se priorizam grandes espaços contínuos, com reduzida presença de paredes estruturais e divisórias rígidas. A ausência de partições do piso ao teto (como painéis de *drywall*, elementos em *eucatex* ou outras vedações) o amortecimento global do sistema, contribuindo para a maior susceptibilidade a vibrações. A isso se soma a ampla utilização de lajes compósitas de aço e concreto, com tecnologia do tipo *steel-deck*, caracterizadas por grandes vãos, seções esbeltas e massa estrutural relativamente reduzida (Hanagan, 2005; Chen et al., 2018; Muhammad e Reynolds, 2019).

Nessas condições, é comum que os níveis de vibração decorrentes de cargas dinâmicas de caminhada ultrapassem limites considerados confortáveis por normas e guias de projeto. Quando isso ocorre, a resposta usual consiste em promover modificações estruturais, como o aumento da espessura da capa de concreto ou a adoção de perfis metálicos mais robustos nas vigas. Tais medidas buscam incrementar a massa e a rigidez das lajes, alterando seus modos de vibração, suas frequências naturais e sua capacidade de dissipar energia, o que em geral contribui para reduzir os valores máximos de resposta dinâmica (Willford e Young, 2006; Smith et al., 2009).

Entretanto, essa prática, amplamente disseminada e considerada solução “intuitiva” para o problema das vibrações, acarreta importantes desdobramentos. Em primeiro lugar, implica em uso significativamente maior de aço e concreto na construção de edifícios, elevando tanto o custo quanto o impacto ambiental da estrutura (Petrovic e Pavic, 2011). Em segundo lugar, grande parte dessas modificações é implantada de forma empírica, por tentativa e erro, sem seguir um processo sistemático de otimização que considere simultaneamente desempenho dinâmico, custo e emissões de carbono (Hanagan e Chatteraj, 2006).

Do ponto de vista ambiental, o problema torna-se ainda mais evidente quando se observa que, ao aumentar a espessura de concreto e as dimensões das vigas de aço, aumentam-se diretamente o peso próprio da estrutura e o carbono incorporado (CO₂) associado à produção e ao transporte desses materiais. Em um contexto de emergência climática global, no qual se busca reduzir emissões em diversos setores, inclusive na

construção civil, soluções que impliquem acréscimos sistemáticos de massa estrutural precisam ser reavaliadas.

Nesse contexto surge o interesse pelo uso de atuadores dinâmicos, dispositivos instalados na estrutura com o objetivo de controlar as vibrações de forma ativa ou semiativa. Em vez de aumentar permanentemente a rigidez ou a massa da laje, esses atuadores atuam diretamente sobre a resposta dinâmica, possibilitando o atendimento aos critérios de vibração com impactos ambientais e materiais potencialmente menores. Este artigo, portanto, busca comparar, de forma quantitativa, as consequências estruturais e ambientais de duas abordagens: modificações estruturais tradicionais e adoção de atuadores dinâmicos em lajes compósitas de aço e concreto.

Fundamentação teórica

Frequência dos passos e componentes harmônicos

A resposta vibratória de lajes submetidas à caminhada humana depende fundamentalmente do caráter periódico da excitação. Estudos clássicos, como os de Willford e Young (2006) e Smith et al. (2009), demonstram que o caminhar humano produz esforços dinâmicos cuja frequência fundamental varia, em geral, entre 1,6 Hz e 2,4 Hz, podendo atingir valores próximos a 3 Hz, em situações de marcha acelerada.

Esses carregamentos apresentam ainda componentes harmônicas - múltiplos inteiros da frequência fundamental - que podem coincidir com frequências naturais das lajes, especialmente aquelas compreendidas entre 2 Hz e 8 Hz, faixa considerada crítica para vibrações verticais em pisos. Quando uma dessas harmônicas se aproxima de um modo próprio da estrutura, ocorre amplificação da resposta dinâmica, aumentando acelerações e deslocamentos e, conseqüentemente, o desconforto percebido pelos usuários.

Além disso, como a excitação da caminhada é repetitiva e persistente, a interação ressonante entre harmônicos e modos estruturais pode resultar em respostas significativas mesmo em estruturas muito rígidas ou com deslocamentos de pequena ordem de grandeza. Por essa razão, entender o espectro de frequências da caminhada é essencial para avaliar estratégias de controle como aumento de massa/rigidez ou o uso de atuadores dinâmicos.

Nesse contexto, surge o Estado Limite de Serviço de Vibrações Excessivas (ELS-VE) para estabelecer os limites do aceitável. As normas internacionais fornecem parâmetros fundamentais para avaliar a aceitabilidade das acelerações induzidas pela caminhada. A ISO 2631-2 (ISO, 2003) estabelece critérios de percepção e desconforto humano frente a vibrações contínuas em edificações, correlacionando níveis de aceleração a diferentes faixas de sensibilidade. Complementarmente, a ISO 10137 (ISO, 2007) define diretrizes específicas para pisos e passarelas, indicando limites de aceleração típicos, entre 0,5% g e 2% g, variando conforme o tipo de ocupação e o nível de exigência de conforto. Essas normas reforçam que vibrações podem ser percebidas mesmo em deslocamentos de pequena amplitude, desde que suas acelerações coincidam com faixas de frequência críticas, justificando a necessidade de avaliações detalhadas em lajes com baixa massa e rigidez reduzida.

Lajes *steel deck* e comportamento dinâmico de sistemas compósitos

As lajes nervuradas - incluindo sistemas *steel deck*, lajes nervuradas moldadas *in loco* e lajes treliçadas - apresentam comportamento vibratório particularmente sensível, devido à elevada esbelteza estrutural e ao menor peso próprio quando comparadas às lajes maciças de concreto. Nessas tipologias, a rigidez global resulta da interação entre o perfil nervurado (geralmente metálico) e a capa de concreto, formando um elemento estrutural compósito cuja eficiência depende diretamente da colaboração entre esses materiais.

Como observado por Sartori (2012), no caso específico das lajes *steel deck*, a fôrma metálica atua inicialmente como suporte às cargas de construção e, após a cura, passa a contribuir como armadura de tração da laje, reforçando o caráter misto do sistema.

Entretanto, conforme discutido por Hanagan (2005) e reforçado por Chen et al. (2018), essa interação nem sempre é capaz de garantir rigidez suficiente sob ações dinâmicas repetitivas. Aspectos como a qualidade da aderência entre concreto e a fôrma metálica, a espessura da capa de concreto, o espaçamento entre vigas secundárias e o nível de continuidade estrutural entre painéis, influenciam diretamente o comportamento dinâmico do sistema.

Devido à massa reduzida, ao amortecimento limitado e às frequências naturais relativamente baixas, essas lajes frequentemente coincidem com faixas de excitação associadas à caminhada humana, tornando-se mais suscetíveis a vibrações excessivas. Por essa razão, intervenções estruturais ou a adoção de sistemas de controle dinâmico podem ser necessárias para que o desempenho em serviço atenda aos critérios normativos e de conforto dos usuários.

Uso de atuadores dinâmicos

O uso de atuadores dinâmicos tem se destacado como uma alternativa moderna às modificações estruturais convencionais, oferecendo uma abordagem distinta do tradicional acréscimo de massa ou rigidez. Em vez de reforçar a laje, esses dispositivos atuam diretamente sobre a resposta dinâmica da estrutura, gerando forças controladas capazes de reduzir deslocamentos, limitar acelerações verticais e evitar fenômenos ressonantes. Conforme discutido na revisão de Saidi (2006), sistemas de controle dinâmico baseiam-se na aplicação de forças reativas ou ativas que modificam, em tempo real, o comportamento vibratório da estrutura.

Os atuadores podem operar em diferentes regimes de controle:

- Passivos, que dissipam energia por meio de mecanismos como amortecedores de massa sintonizados, sem necessidade de alimentação externa;
- Semiativos, cujas propriedades (rigidez, amortecimento) são ajustadas continuamente, embora não injetem energia na estrutura; e
- Ativos, que utilizam sensores, atuadores eletromecânicos e circuitos de retroalimentação para produzir forças opostas às vibrações, como no atuador eletromagnético desenvolvido por Hanagan e Murray (1995), revisado e discutido por Saidi (2006).

A adoção de sistemas ativos e semiativos, como observa Saidi (2006), representa uma mudança de paradigma significativa na engenharia estrutural. Em vez de recorrer ao reforço tradicional - que aumenta o peso próprio, a demanda por aço e concreto e o carbono incorporado -, esses dispositivos oferecem controle direto da vibração sem aumentos substanciais de massa e sem interferências relevantes na funcionalidade da edificação. Por serem compactos e instaláveis no espaço de forro, tornam-se especialmente úteis em edifícios com grandes vãos, lajes leves e ambientes abertos, onde soluções convencionais de reforço podem ser economicamente inviáveis ou ambientalmente indesejáveis.

Carbono incorporado e implicações ambientais do reforço estrutural

A discussão sobre vibrações estruturais tem adquirido novo significado diante do panorama ambiental global. As modificações estruturais tradicionais, como o aumento de

espessura da capa de concreto ou utilização de vigas metálicas maiores, elevam diretamente:

- O peso próprio da estrutura;
- O consumo de aço e concreto; e
- O carbono incorporado (CO₂e) ao edifício.

Petrovic e Pavic (2011) e Poole et al. (2021) destacam que reforços estruturais voltados apenas ao controle de vibrações costumam resultar em acréscimos significativos de material, muitas vezes superiores ao necessário para atender aos critérios estruturais tradicionais.

Em paralelo, diretrizes internacionais, como o European Climate Law (EN, 2017), reforçam a necessidade de reduzir emissões em todos os segmentos da construção civil, criando um contexto no qual soluções de baixo carbono passam a ser priorizadas.

Neste cenário, sistemas de controle dinâmico - incluindo atuadores - tornam-se alternativas ambientalmente vantajosas, uma vez que permitem reduzir vibrações sem duplicar a massa da laje. Assim, avaliar as implicações ambientais dessas soluções é indispensável para equilibrar desempenho estrutural, conforto e sustentabilidade.

Metodologia

O método adotado neste estudo baseou-se na modelagem numérica de uma laje compósita de aço e concreto submetida a cargas dinâmicas de caminhada, com o propósito de comparar o impacto estrutural e ambiental de duas abordagens distintas para a redução de vibrações: a alteração da própria configuração estrutural da laje e a utilização de atuadores dinâmicos, como alternativa de controle. A investigação parte de uma laje representativa de edifícios modernos, caracterizados por grandes vãos e elevada sensibilidade a vibrações induzidas por caminhadas.

A laje analisada possui dimensões de 27 m × 42 m, dividida em uma malha 3 × 3, composta por nove painéis retangulares de 9 m × 14 m. Essa organização reflete padrões usuais de projeto estrutural em pavimentos corporativos. O sistema de apoio é formado por vigas metálicas do tipo I, distribuídas em dois grupos: vigas secundárias (tipo B), localizadas sob cada painel do grid; e vigas principais (tipo C), posicionadas entre pilares e responsáveis pela rigidez global do conjunto. A configuração geral da estrutura pode ser visualizada na Figura 1.

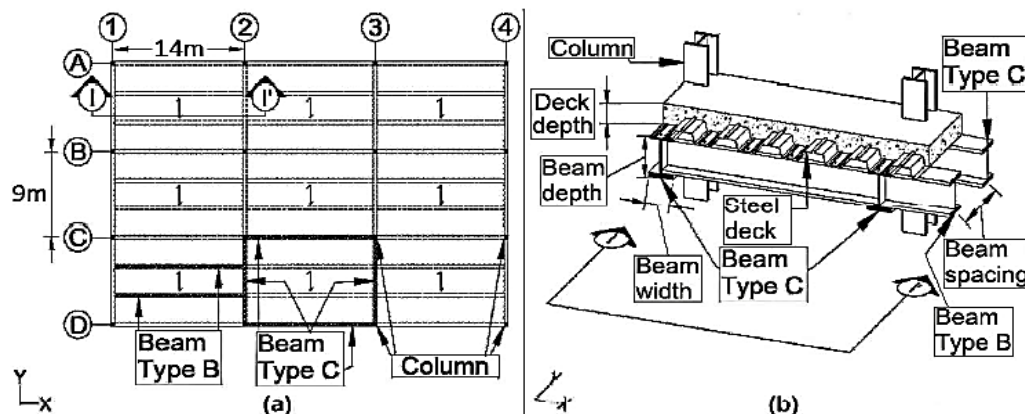


Figura 1. Esquema estrutural da laje investigada (a) em planta e (b) em perspectiva. Fonte: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/PPSCFX.SCENG-1430> (2024).

Foram consideradas três situações distintas da mesma laje: a versão original sem modificações (denominada F2), uma versão com alterações estruturais tradicionais - como aumento da espessura da camada de concreto e emprego de perfis metálicos mais robustos - e, por fim, uma versão na qual foram aplicados atuadores dinâmicos para controle das vibrações, evitando alterações físicas significativas na laje.

A resposta vibratória das três configurações foi determinada por meio do parâmetro $R_{\max}$, amplamente empregado em normas internacionais para avaliar vibrações induzidas por caminhadas. Os resultados consolidados para esse parâmetro estão representados na Figura 2, que evidencia as diferenças de desempenho entre as alternativas analisadas.

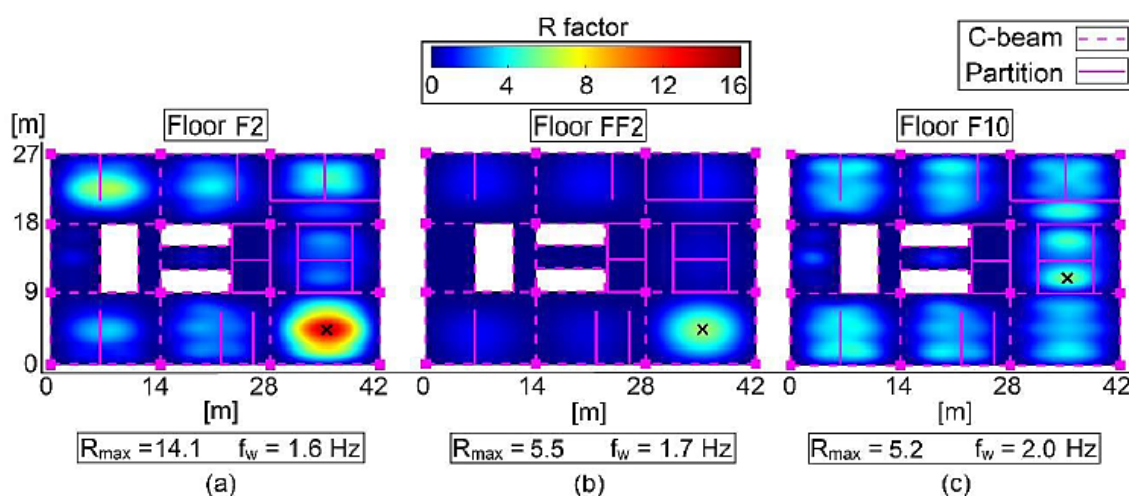


Figura 2. Reposta dinâmica ($R_{\max}$) das lajes modeladas.

Para complementar a análise, foram compiladas as propriedades geométricas e dinâmicas associadas a cada versão da laje, incluindo massa estrutural, espessura da camada de concreto, rigidez global e características modais relevantes. Essas informações foram reunidas na Tabela 1, permitindo uma avaliação clara e comparativa entre as soluções tradicionais e o uso de atuadores.

Tabela 1. Propriedades geométricas e dinâmicas das três lajes.

Floor	Deck depth (mm)	C-beam			B-beam			Struct. mass (kg/m ²)	EC (kgCO ₂ e/m ²)	Struct. cost (£/m ²)	Total floor depth ⁺
		D ⁺	W ⁺	M ⁺	D ⁺	W ⁺	M ⁺				
F2	130	510	200	151	500	180	84	231.6	201.0	402.7	640
FF2	250	650	200	173	650	250	114	452.1	267.3	490.2	900
F10	130	510	200	151	500	180	84	231.9	202.6	446.8	640
Change (%) (F2 to FF2)		+27	0	+15	+30	+38	+36	+95	+33	+22	+41
Change (%) (F2 to F10)		0	0	0	0	0	0	+0.1	+0.8	+11	0

A partir desse conjunto de análises foi possível comparar, simultaneamente, o desempenho vibratório e o impacto ambiental de cada alternativa. As versões modificadas

estruturalmente apresentaram aumentos expressivos de massa - e, portanto, de carbono incorporado - enquanto a solução baseada em atuadores demonstrou ser capaz de reduzir as vibrações sem exigir acréscimo substancial de materiais. Dessa forma, o método empregado possibilitou uma avaliação integrada entre comportamento dinâmico, uso de materiais e emissões associadas, trazendo evidências claras sobre as vantagens e limitações de cada abordagem.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos a partir do modelo numérico permitiram comparar diretamente o desempenho das três configurações analisadas. A laje F2, versão original sem modificações, apresentou resposta dinâmica $R_{\max}$ significativamente elevada, corroborando a tendência observada em lajes de grandes vãos com massa reduzida e ausência de partições rígidas. Esse resultado indica que estruturas com essas características dificilmente atendem aos limites de vibração sem algum tipo de intervenção.

A laje FF2, modificada por meio de acréscimos de espessura de concreto e de perfis metálicos mais robustos, apresentou aumento considerável de massa (aproximadamente 95%). Contudo, apesar do aumento significativo de rigidez e peso próprio, a resposta vibratória não apresentou redução suficiente para enquadrar a laje nos limites recomendados pelas diretrizes internacionais (isto é, $R_{\max} < 4$). Isso demonstra que a simples adição de material - técnica frequentemente aplicada de forma empírica - não garante um desempenho vibratório satisfatório, além de provocar um aumento expressivo de carbono incorporado (aproximadamente 33%).

Essa constatação é particularmente importante no contexto da sustentabilidade. Materiais como aço e concreto possuem elevado impacto ambiental em suas etapas de produção, transporte e execução. Assim, soluções baseadas apenas no aumento de massa podem agravar a pegada de carbono do edifício sem resolver adequadamente o problema das vibrações.

Por outro lado, a laje F10, equipada com atuadores dinâmicos, apresentou desempenho significativamente superior. Os atuadores reduziram a resposta vibratória a níveis aceitáveis sem qualquer aumento expressivo de massa ou modificação estrutural permanente. Isso demonstra que mecanismos de controle dinâmico podem ser mais eficientes, sustentáveis e econômicos do que as alternativas convencionais baseadas em reforço estrutural.

Os resultados sugerem que o uso de atuadores dinâmicos representa uma solução promissora para estruturas suscetíveis a vibrações, sobretudo em edifícios de grandes vãos e plantas abertas. Além disso, oferecem uma alternativa que reduz emissões, diminui custos e evita intervenções estruturais pesadas.

Considerações finais

Os resultados obtidos com o modelo computacional de laje compósita de aço e concreto permitem estabelecer algumas conclusões importantes sobre o uso de modificações estruturais e de atuadores dinâmicos para o controle de vibrações induzidas por caminhada.

Em primeiro lugar, verificou-se que a laje de referência F2 apresenta níveis elevados de vibrações verticais, indicando a necessidade de intervenção para atendimento aos critérios de desempenho em serviço. Essa constatação reforça que, em estruturas com grandes vãos, massa reduzida e ausência de partições rígidas, o ELS de vibrações tende a se tornar um requisito determinante no projeto.

Em segundo lugar, observou-se que as modificações estruturais introduzidas na laje FF2 - com acréscimos de espessura da capa de concreto e adoção de vigas metálicas mais robustas - não foram suficientes para reduzir a resposta dinâmica máxima (R_{max}) a valores considerados satisfatórios (isto é, inferiores a 4). Apesar do aumento significativo de massa e rigidez, a solução não alcançou o nível de desempenho desejado, evidenciando que o simples acréscimo de material não garante, por si só, o controle eficaz de vibrações.

Do ponto de vista ambiental, o quadro é ainda mais desfavorável para a laje FF2. As modificações estruturais implicaram um aumento da massa estrutural da ordem de 95% em relação à laje F2, o que se refletiu em um acréscimo de 33% no carbono incorporado. Em outras palavras, a solução tradicional resultou em uma estrutura muito mais pesada e com impacto ambiental consideravelmente maior, sem entregar, em contrapartida, a redução de vibrações almejada.

Por outro lado, a laje F10, equipada com atuadores dinâmicos, apresentou desempenho mais eficiente no controle das vibrações, reduzindo a resposta dinâmica a níveis aceitáveis sem a necessidade de duplicar o peso próprio da estrutura. Essa solução mostra-se especialmente atraente quando se considera o equilíbrio entre desempenho estrutural, conforto de uso e impacto ambiental, uma vez que evita o uso excessivo de concreto e aço e, conseqüentemente, reduz o carbono incorporado associado ao sistema estrutural.

Em síntese, pode-se concluir que o uso de atuadores dinâmicos representa uma estratégia promissora para o controle de vibrações em lajes compósitas de aço e concreto, oferecendo vantagens em termos de eficiência técnica e sustentabilidade. As modificações estruturais tradicionais, embora ainda amplamente utilizadas, podem levar a aumentos significativos de massa e emissões sem garantir, necessariamente, o desempenho dinâmico desejado.

Os resultados apresentados reforçam a necessidade de incorporar, de forma sistemática, a avaliação do carbono incorporado no processo de projeto de lajes sujeitas a vibrações excessivas. A comparação entre soluções baseadas em acréscimo de material e soluções baseadas em dispositivos dinâmicos deve considerar não apenas o atendimento aos critérios de conforto, mas também o impacto ambiental de cada alternativa ao longo do ciclo de vida da estrutura.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros ampliem essa abordagem, explorando diferentes configurações geométricas de lajes, distintas estratégias de posicionamento de atuadores e variadas combinações de materiais, de modo a aprofundar a compreensão sobre o equilíbrio entre desempenho dinâmico e impacto ambiental em estruturas de piso. Essa linha de investigação pode contribuir para o desenvolvimento de diretrizes de projeto que conciliem, de maneira mais eficaz, segurança, conforto e sustentabilidade.

Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver interesses concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado as inferências relatadas neste artigo.

Referências

Chen, S; Zhang, R.; Zhang, J. Human-induced vibration of steel-concrete composite floors. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings**, v. 171, n. 1, p. 50-63, 2018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/jstbu.16.00179>

EN - European Commission. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law). Belgium: EN, 2017.

- Hanagan, L. M. Walking-induced floor vibration case studies. **Journal of Architectural Engineering**, v. 11, n. 1, p. 14-18, 2005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2005\)11:1\(14\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2005)11:1(14))
- Hanagan, L. M.; Chatteraj, M. C. A whole building cost perspective to floor vibration serviceability. Proceedings of the 2006 Architectural Engineering Conference, Omaha, 2006. [https://doi.org/10.1061/40798\(190\)37](https://doi.org/10.1061/40798(190)37)
- Hanagan, L.; Murray, T. Active control of floor vibration: Implementation case studies. Proceedings of the 1995 American Control Conference, 1995. <https://doi.org/10.1109/ACC.1995.531220>
- ISO - International Organization for Standardization. **ISO 2631-2: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Human exposure to continuous and shock-induced vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)**. Geneva: ISO, 2003.
- ISO - International Organization for Standardization. **ISO 10137: Bases for design of structures – Service ability of buildings and walkways against vibrations**. Geneva: ISO, 2007.
- Muhammad, Z.; Reynolds, P.; Avci, O.; Hussein, M. Review of pedestrian load models for vibration serviceability assessment of floor structures. **Vibration**, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2019. <https://doi.org/10.3390/vibration2010001>
- Petrovic, S.; Pavic, A. Effects of non-structural partitions on vibration performance of floor structures: A literature review. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN, 2011.
- Poole, I.; Gabbianelli, M.; Arnold, W.; Orr, J. Seeing the bigger picture: Industry emissions, your project and the performance gap. **The Structural Engineer**, v. 99, n. 10, p. 1-4, 2021. <https://doi.org/10.56330/YZRQ9810>
- Saidi, I.; Haritos, N.; Gad, E. F.; Wilson, J. L. Floor vibrations due to human excitation: Damping perspective. Canberra: Swinburne University of Technology, Conference Contribution, 2006. <https://doi.org/10.25916/sut.26285590.v1>
- Sartori, T. A. B. **Análise comparativa de custos para a execução de uma laje steel deck**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2012. (Trabalho de conclusão de curso).
- Smith, A. L.; Hicks, S. J.; Devine, P. J. **Design of floors for vibration**: A new approach (Revised Edition, February 2009). Ascot: The Steel Construction Institute, 2009.
- Willford, M.; Young, P. **A design guide for footfall induced vibrations of structures**: A tool for designers to engineer the footfall vibration characteristics of buildings or bridges. Camberley: The Concrete Center, 2006.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.